



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN PERANGKAT PERCOBAAN AKSELERASI UMUR
DENGAN KELEMBABAN DAN KONTAMINASI
TERKONTROL UNTUK MOTOR INDUKSI**

Daniel Mahardhika
NRP 2213105052

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr.Eng.I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA 2015



Final Project - TE 141599

**DESIGN ACCELERATING AGING TEST CHAMBER
WITH HUMIDITY AND CONTAMINANT CONTROL
FOR INDUCTION MOTOR**

Daniel Mahardhika
NRP 2213105052

Advisor
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr.Eng.I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**DESAIN PERANGKAT PERCOBAAN
AKSELARASI UMUR DENGAN KELEMBABAN
DAN KONTAMINASI TERKONTROL
UNTUK MOTOR INDUKSI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP. 1981 09 05 2005 01 1002 NIP. 1970 07 12 1998 02 1001

**SURABAYA
JULI, 2015**

DESAIN PERANGKAT PERCOBAAN AKSELERASI UMUR DENGAN KELEMBABAN DAN KONTAMINASI TERKONTROL UNTUK MOTOR INDUKSI

Nama Mahasiswa : Daniel Mahardhika
NRP : 2213105052
Dosen Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.
NIP : 197007121998021001

ABSTRAK

Isolasi adalah bagian penting dari motor induksi untuk mencegah terjadinya *short circuit*. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik. Kekuatan isolasi dapat berkurang karena adanya pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan kontaminasi. Untuk mengetahui pengaruh kelembaban dan kontaminasi pada isolasi khususnya pada motor induksi diperlukan suatu metode. Metode tersebut dikenal dengan akselerasi umur. Metode ini dilakukan dengan cara mengkondisikan lingkungan suatu isolasi dengan tingkat di atas kondisi normal. Untuk mengakomodasi percobaan akselerasi umur isolasi pada motor induksi karena pengaruh kelembaban dan kontaminasi diperlukan sebuah alat. Maka dibuatlah sebuah *chamber* dengan kelembaban dan kontaminasi di dalamnya yang dapat dikontrol. *Chamber* ini mampu meningkatkan kondisi kelembaban dan kontaminasi dengan motor induksi dalam keadaan bekerja di dalamnya.

Kata Kunci :

Isolasi, Motor Induksi, Akselerasi Umur, Kelembaban, Kontaminasi, *Chamber*.

DESAIN PERANGKAT PERCOBAAN AKSELERASI UMUR DENGAN KELEMBABAN DAN KONTAMINASI TERKONTROL UNTUK MOTOR INDUKSI

Nama Mahasiswa : Daniel Mahardhika
NRP : 2213105052
Dosen Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.
NIP : 197007121998021001

ABSTRAK

Isolasi adalah bagian penting dari motor induksi untuk mencegah terjadinya *short circuit*. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik. Kekuatan isolasi dapat berkurang karena adanya pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan kontaminasi. Untuk mengetahui pengaruh kelembaban dan kontaminasi pada isolasi khususnya pada motor induksi diperlukan suatu metode. Metode tersebut dikenal dengan akselerasi umur. Metode ini dilakukan dengan cara mengkondisikan lingkungan suatu isolasi dengan tingkat di atas kondisi normal. Untuk mengakomodasi percobaan akselerasi umur isolasi pada motor induksi karena pengaruh kelembaban dan kontaminasi diperlukan sebuah alat. Maka dibuatlah sebuah *chamber* dengan kelembaban dan kontaminasi di dalamnya yang dapat dikontrol. *Chamber* ini mampu meningkatkan kondisi kelembaban dan kontaminasi dengan motor induksi dalam keadaan bekerja di dalamnya.

Kata Kunci :

Isolasi, Motor Induksi, Akselerasi Umur, Kelembaban, Kontaminasi, *Chamber*.



DESIGN ACCELERATING AGING TEST CHAMBER WITH HUMIDITY AND CONTAMINANT CONTROL FOR INDUCTION MOTOR

Student Name : Daniel Mahardhika
NRP : 2213105052
Advisor I : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002
Advisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP : 197007121998021001

ABSTRACT

Insulation is an important part of the induction motor to prevent from short circuit. Each insulation material has a different resistance to withstand electric current. Insulation strength can be reduced due to environmental influences such as humidity and contaminant. To determine the effect of moisture and contamination on insulation, especially in induction motors needs a method. The method known as accelerating aging. This method is done by conditioning the isolation environment with a level above normal conditions. To accommodate accelerating aging of the induction motor insulation due moisture and kontaminsai needed a tool. Hence made a chamber with humidity and contamination that can be controlled. This chamber is able to imcrease moisture and contamination with working induction motor inside.

Keywords :

Insulation, Induction Motor, Accelerating Aging, Humidity, Contaminant, Chamber.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.

Tugas Akhir dengan judul:

“Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini demikian pula selama perkuliahan, penulis tidak lepas dari petunjuk, bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan baik dalam bentuk apapun yang berguna untuk menunjang pembuatan Tugas Akhir ini, secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan selama ini.
2. Bapak Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. dan Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, dukungan dan ilmu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu.
4. Teman-teman di Teknik Elektro, terima kasih banyak atas bantuan dan dorongan kalian semua selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini semoga dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi acuan dalam perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi selanjutnya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
PENGESAHAN	
PERNYATAAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I - PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sistematika	2
 BAB II – AKSELERASI UMUR	
2.1. Isolasi Motor	5
2.1.1. Pembagian Kelas Isolasi	6
2.1.2. Sistem Isolasi Stator Motor	7
2.2. Pengaruh Lingkungan Terhadap Isolasi	9
2.2.1. Pengaruh Kelembaban	9
2.2.2. Pengaruh Kontaminasi	12
2.3. Atomisasi Cairan	14
2.4. Percobaan Akselerasi Umur	15
 BAB III - PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
3.1. Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik	17
3.1.1. Tangki Kelembaban dan Kontaminasi	18
3.1.2. Dudukan Motor	18
3.1.3. Perwujudan Bagian Mekanik	19
3.2. Perancangan dan Pembuatan Bagian Elektrik	19
3.2.1. Arduino Mega	20
3.2.2. <i>Ultrasonic Nebulizer</i>	21
3.2.3. Sensor Kelembaban dan Suhu DHT11	21
3.2.4. Sensor Kontaminasi	22

3.2.5. Sensor Suhu LM35	22
3.2.6. Sensor Suhu DS18B20.....	23
3.2.7. LCD dan <i>Keypad</i>	23
3.2.8. <i>Data Logger</i>	24
3.2.9. Perwujudan Bagian Elektrik.....	24
3.3. Perancangan dan Pembuatan Program	25
3.3.1. Alogaritma Program	26
3.3.2. Tampilan Menu LCD.....	26
3.3.3. Fungsi Tombol	28
3.4. Perwujudan Alat dan Skema Pengujian	28

BAB IV - VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT

4.1. Validasi Sensor Kelembaban DHT11	31
4.2. Validasi Sensor Suhu DHT11.....	32
4.3. Validasi Sensor Suhu LM35.....	34
4.4. Validasi Sensor Suhu DS18B20	35
4.5. Pengujian Sensor Suhu	36
4.6. Pengujian Kontrol Kelembaban.....	37
4.7. Pengujian Kontrol Komtaminasi	38
4.8. Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi	39
4.9. Pengujian Akselerasi Umur.....	41

BAB V - PENUTUP

5.1. Kesimpulan	43
5.2. Keberlanjutan Penelitian	43

DAFTAR PUSTAKA	45
-----------------------------	----

LAMPIRAN A

Skema Elektrik.....	A-1
---------------------	-----

LAMPIRAN B

<i>Listing Program</i>	B-1
------------------------------	-----

BIOGRAFI PENULIS	C-1
-------------------------------	-----

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1].....	5
Tabel 3.1 Skema Pengujian	28
Tabel 4.1 Hasil Validasi Sensor Kelembaban DHT11	31
Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11	32
Tabel 4.3 Hasil Validasi Sensor Suhu LM35.....	34
Tabel 4.4 Hasil Validasi Sensor Suhu DS18B20	35
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran IR dan PI.....	42

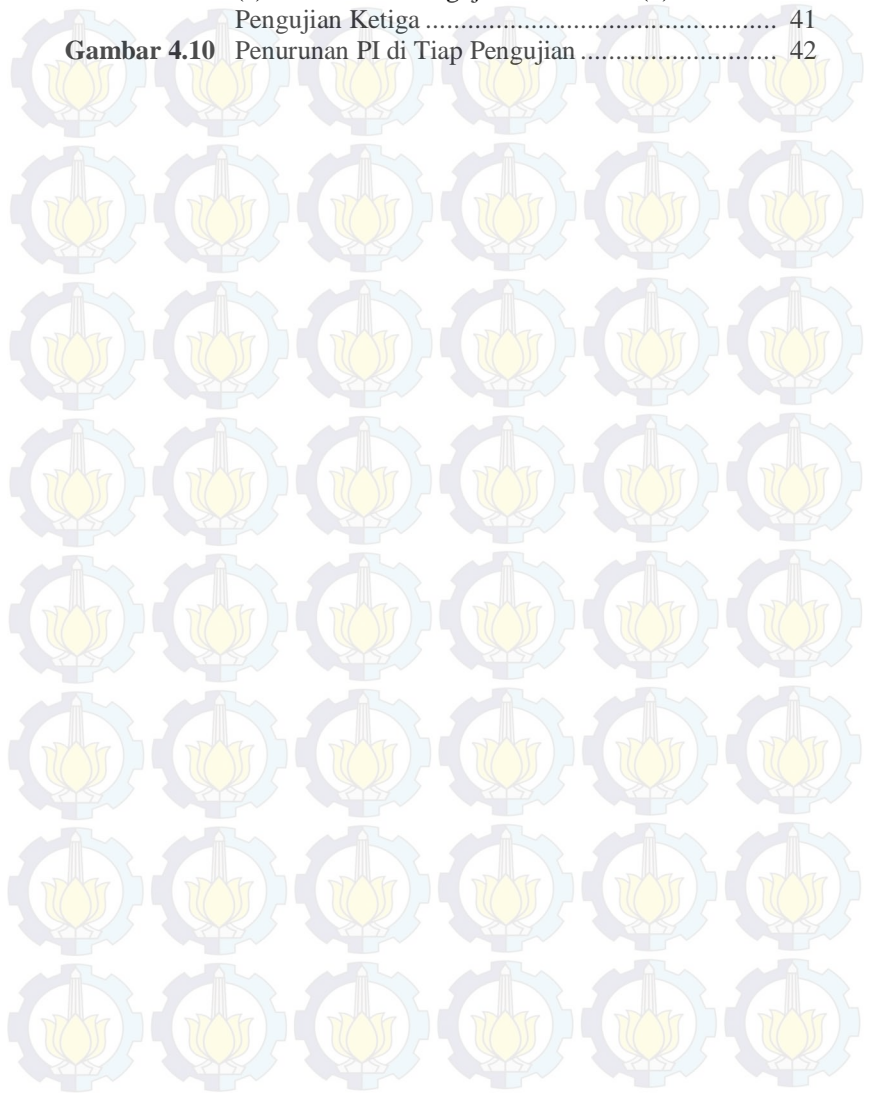


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 (a) Konstruksi <i>Random-Wound Stators</i>	
(b) Konstruksi <i>Form-Wound Stators</i> [2]	7
Gambar 2.2 (a) Penampang <i>Random-Wound Stators Slot</i>	
(b) Penampang <i>Form-Wound Stators Slot</i> [2]	8
Gambar 2.3 Faktor yang Dapat Mempengaruhi Umur[6]	9
Gambar 2.4 (a) Kondisi Belitan Stator Setelah Dipengaruhi Kelembaban Tinggi (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan Isolasi Belitan Stator[4]	10
Gambar 2.5 (a) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall</i> di <i>End-Winding</i> [4]	10
Gambar 2.6 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kelembaban[4]	11
Gambar 2.7 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kelembaban[4]	11
Gambar 2.8 (a) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti (b) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti di <i>End-Winding</i> [6]	12
Gambar 2.9 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kontaminasi[4]	13
Gambar 2.10 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kontaminasi[4]	13
Gambar 2.11 Cara Kerja <i>Ultrasonic Atomizer</i> [11]	15
Gambar 2.12 Perangkat Percobaan yang Telah Dilakukan[5]	16

Gambar 2.13	Perangkat Percobaan Lanjutan yang Telah Dilakukan[4].....	16
Gambar 3.1	Rancangan <i>Chamber</i>	17
Gambar 3.2	Tangki Kelembaban dan Kontaminasi	18
Gambar 3.3	Rancangan Dudukan Motor.....	19
Gambar 3.4	Bagian Mekanik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur	19
Gambar 3.5	Diagram Blok Sistem.....	20
Gambar 3.6	Arduino Mega.....	20
Gambar 3.7	<i>Ultrasonic Nebulizer</i>	21
Gambar 3.8	Sensor DHT11	21
Gambar 3.9	Sensor Kontaminasi	22
Gambar 3.10	Sensor LM35	22
Gambar 3.11	Sensor DS18B20.....	23
Gambar 3.12	LCD dan <i>Keypad</i>	23
Gambar 3.13	<i>Data Logger</i>	24
Gambar 3.14	Bagian Elektrik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur	24
Gambar 3.15	<i>Flowchart</i> Program Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol	25
Gambar 3.16	Tampilan Utama LCD.....	26
Gambar 3.17	(a) Tampilan Menu <i>Setting</i> Kelembaban (b) Tampilan menu <i>Setting</i> Kontaminasi	27
Gambar 3.18	Tampilan Menu <i>Setting</i> Waktu	27
Gambar 3.19	Tombol <i>Input</i>	28
Gambar 3.20	Perwujudan Keseluruhan Alat	29
Gambar 3.21	Kondisi dalam <i>Chamber</i>	29
Gambar 3.22	Skema Pengujian Penuaan.....	30
Gambar 3.22	Motor Induksi 1,5kW	30
Gambar 4.1	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Kelembaban DHT11	32
Gambar 4.2	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu DHT11.....	33
Gambar 4.3	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu LM35.....	34
Gambar 4.4	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu DS18B20	36
Gambar 4.5	Pengujian Sensor Suhu.....	37
Gambar 4.6	Pengujian Kontrol Kelembaban.....	38
Gambar 4.7	Pengujian Kontrol Kontaminasi.....	39
Gambar 4.8	Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi ..	40

Gambar 4.9	(a) Kondisi Awal (b) Kondisi Pengujian Pertama (c) Kondisi Pengujian Kedua (d) Kondisi Pengujian Ketiga	41
Gambar 4.10	Penurunan PI di Tiap Pengujian	42





BIOGRAFI PENULIS



Daniel Mahardhika lahir di Probolinggo, Jawa Timur, 19 Agustus 1991. Menempuh pendidikan formal di TK Taruna Dra Zulaeha pada Tahun 1996-1998. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Taruna Dra Zulaeha hingga tahun 2004. Setelah lulus dari jenjang pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Taruna Dra Zulaeha. Pada tahun 2007, penulis memilih untuk melanjutkan pendidikan di tempat yang sama dengan jenjang yang berbeda, yaitu SMA Taruna Dra Zulaeha dan diselesaikan pada tahun 2013. Penulis melanjutkan kuliah di D3 Teknik Elektro Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga tahun 2013. Untuk mendapatkan gelar sarjana, penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan selesai pada tahun 2015.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kelistrikan isolasi mempunyai peran penting untuk mencegah terjadinya *short circuit*. Isolasi berfungsi untuk memisahkan suatu rangkaian listrik dari rangkaian listrik lainnya dan dari komponen yang dapat menghantarkan listrik. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik[1]. Isolasi pada motor adalah bagian yang penting agar motor dapat bekerja dengan normal. Pada motor induksi isolasi ini biasanya terdapat pada bagian stator. Isolasi stator motor memiliki tiga komponen dasar, yaitu: *strand insulation*, *turn insulation*, dan *groundwall insulation*. Ketiga komponen ini memiliki masing-masing fungsi berbeda dalam mencegah terjadinya *short circuit* pada motor[2].

Untuk mengetahui kemampuan isolasi diperlukan suatu metode untuk mengevaluasi kemampuan isolasi. Percobaan akselerasi umur sering digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu isolasi terkait dengan umurnya yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Suatu gagasan dikenalkan oleh Mathes pada tahun 1948, untuk mengevaluasi bahan isolasi sesuai dengan kondisi lingkungan kerjanya, dimana satu atau dua faktor kondisi lingkungannya ditingkatkan. Gagasan ini tetap digunakan hingga sekarang[3]. Hal ini dilakukan karena tidak mungkin realistis menunggu, katakanlah 20 tahun untuk mengetahui apakah suatu isolasi telah memenuhi standar. Banyak faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi. Beberapa faktor tersebut antara lain berupa kelembaban dan kontaminasi. Kelembaban dan kontaminasi dapat mempercepat kegagalan isolasi dari suatu peralatan listrik [4,5].

Di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pengujian dan simulasi akselerasi umur dipengaruhi kontaminasi dan kelembaban telah dilakukan. Namun dalam pengujian tersebut didapatkan data yang belum memadai karena perangkat percobaan akselerasi umur yang digunakan. Perangkat percobaan yang digunakan berupa sebuah *chamber* yang dindingnya terbuat dari akrilik. Kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* yang dihasilkan oleh *humidifier* tidak terkontrol. Kontaminasi di dalam *chamber* juga tidak terukur[4,5].

Dalam Tugas Akhir ini, ada beberapa permasalahan yang ditekankan. Pertama kelembaban udara dalam *chamber* yang belum terkontrol. Kedua kontaminasi di udara dalam *chamber* yang belum terukur. Ketiga kontaminasi di udara dalam *chamber* yang belum terkontrol.

Pada pembuatan alat untuk Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi” mempunyai beberapa batasan. Pertama kelembaban udara dalam *chamber* dikontrol dengan batasan kemampuan dari alat penguap yang berisi air. Kedua kontaminasi di udara dalam *chamber* dikontrol dengan batasan kemampuan dari alat penguap yang berisi larutan garam. Ketiga kontrol yang digunakan hanya untuk memberikan batas minimal.

Terdapat beberapa tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini. Pertama mendesain sebuah perangkat percobaan akselerasi umur dengan kelembaban dan kontaminasi terkontrol. Kedua membuat sebuah perangkat percobaan akselerasi umur dengan kelembaban dan kontaminasi terkontrol.

Relevansi dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebuah alat yang dapat mengakomodasi percobaan akselerasi umur dengan pengaruh kelembaban dan kontaminasi.

1.2. Sistematika

Dari proses pembuatan alat pada Tugas Akhir ini yang dimulai dari perancangan, pembuatan, validasi dan pengujian yang didapat maka diwujudkan ke dalam bentuk buku laporan. Laporan ini terdiri dari lima BAB.

BAB I dengan judul “PENDAHULUAN” berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan Tugas Akhir. Latar belakang bercerita tentang alasan pengambilan judul Tugas Akhir. Perumusan masalah diambil dari keadaan yang terjadi di latar belakang. Batasan masalah menentukan batasan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini agar realistis tercapai. Tujuan menceritakan yang akan dicapai dari Tugas Akhir ini. Sistematika penulisan menggambarkan tentang isi laporan.

BAB II dengan judul “AKSELERASI UMUR” berisi tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pengerjaan Tugas Akhir. Dasar teori dan tinjauan pustaka diambil dari tugas akhir yang pernah dilakukan berkaitan dengan Tugas Akhir yang dikerjakan.

BAB III dengan judul “PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT” berisi tentang perancangan dari Tugas Akhir yang berwujud sebuah alat dan pembuatannya. Perancangan dan pembuatan meliputi bagian mekanik, elektrik, program, dan skema pengujian.

BAB IV dengan judul “VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT” berisi tentang hasil validasi dan pengujian alat. Validasi dilakukan untuk menentukan kelayakan komponen yang digunakan dilihat dari *error* yang dihitung. Pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan alat sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

BAB V dengan judul “PENUTUP” berisi tentang kesimpulan dan keberlanjutan penelitian dari Tugas Akhir. Kesimpulan menjabarkan hasil yang telah didapat. Keberlanjutan penelitian berisi saran dan gambaran untuk pengerjaan penelitian yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.



BAB II

AKSELERASI UMUR

2.1. Isolasi Motor

Dalam kelistrikan isolasi berfungsi untuk memisahkan suatu rangkaian listrik dari rangkaian listrik lainnya dan dari komponen yang dapat menghantarkan listrik. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik. Kemampuan dari suatu bahan isolasi didefinisikan sebagai konstanta permitivitas listrik relatif atau dielektrik. Untuk nilai konstanta dielektrik masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1[1].

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1]

<i>Material</i>	<i>Permittivity at 20°C</i>
<i>Air</i>	1.0006
<i>Hydrogen</i>	1.0003
<i>Carbon dioxide</i>	1.0009
<i>Transformer oil</i>	2.2-2.6
<i>Glass</i>	3.5- 10.0
<i>Mica (muscovite)</i>	6.0- 8.0
<i>Mica (phlogopite)</i>	5.0- 6.0
<i>Porcelain</i>	5.5-6.5
<i>Shellac</i>	3.0-4.0
<i>Bitumen</i>	2.0- 3.0
<i>Phenolic resin</i>	5.0-6.0
<i>Alkyd resin</i>	5.8- 6.2
<i>Epoxy resin</i>	3.3-5.5
<i>Polyester resin</i>	3.0-5.0
<i>Silicone resin</i>	3.0-4.8
<i>Cellulose paper (dry)</i>	2.0-3.0
<i>Aramid paper (dry)</i>	2.2- 2.6
<i>Asbestos paper (untreated)</i>	5.0-7.0
<i>Asbestos paper (epoxy-treated)</i>	2.5-3.0
<i>Natural rubber</i>	2.5- 5.0
<i>Nitrile rubber</i>	3.5-10.0
<i>Chloroprene rubber</i>	7.0-10.0

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1]

<i>Material</i>	<i>Permittivity at 20°C</i>
<i>Butyl rubber</i>	2.0-4.0
<i>Silicone rubber</i>	2.5- 8.0
<i>Chlorosuphonated polyethylene rubber</i>	6.5-7.5
<i>Phenolic-bonded paper</i>	3.0-6.0
<i>Phenolic-bonded cotton cloth</i>	5.0-7.0
<i>Polyester-bonded glass cloth</i>	4.5-7.0
<i>Epoxy-bonded glass cloth</i>	4.0-6.5
<i>Silicone-bonded glass cloth</i>	2.8-4.0
<i>Epoxy-bonded glass-backed mica paper</i>	4.8-5.2
<i>Polystyrene</i>	2.4-2.6
<i>Polyethylene</i>	2.2- 3.0
<i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i>	2.0-2.3
<i>Polyvinylchloride (PVC)</i>	3.5-4.0

2.1.1. Pembagian Kelas Isolasi

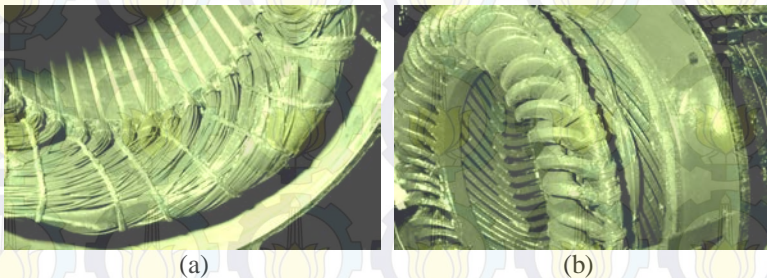
Pada tahun 1977, Electric Instrument Rules Committee dari Japanese Industrial Standards Committee membahas dan menyusun standar. Standar itu untuk memperjelas kelas isolasi dan suhu maksimum motor yang menghasilkan pembagian kelas sebagai berikut (JIS C 4003: *Electrical Insulation-Thermal Evaluation and Designation*):

1. Kelas-Y : Tahan hingga suhu 90°C; terbuat dari bahan berserat organik seperti katun, sutera alam, wol sintesis, rayon, serat poliamid, kertas, prespan, kayu, polikrilat, polietilen, polivinil, atau karet.
2. Kelas-A : Tahan suhu hingga 105°C; terbuat dari bahan kelas-Y yang dilapisi dengan pernis, aspal, atau minyak isolasi.
3. Kelas-E : Tahan hingga suhu 120°C; terbuat dari bahan polyvinyl formal, polyurethane dan damar epoksi, selulosa, pertinaks, tekstolit, triasetat, atau polietilen tereftalat.
4. Kelas-B : Tahan hingga suhu 130°C; terbuat dari bahan mika, fiber, asbes, bitumen, bakelit, polikarbonat polychlorotrifluoroethylene, polietilena tereftalat, atau sirlak.

5. Kelas-F : Tahan suhu hingga 155°C ; terbuat dari bahan kelas-B yang ditingkatkan dengan perekat, silikon, atau resin pernis dengan ketahanan termal yang lebih tinggi.
6. Kelas-H : Tahan suhu sampai 180°C ; terbuat dari bahan anorganik direkatkan dengan resin silikon tanpa campuran bahan berserat atau email plymaide murni.
7. Kelas-C : Tahan suhu lebih tinggi dari 180°C ; terbuat dari bahan anorganik seperti mika, mikanit tahan panas, mikaleaks, gelas, keramik, atau teflon (satunya dengan substansi organik).

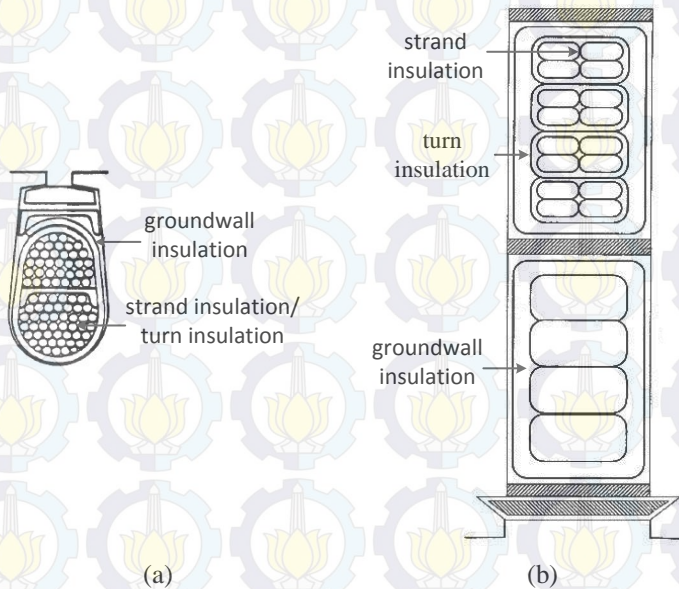
2.1.2. Sistem Isolasi Stator Motor

Konstruksi belitan stator pada motor dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan kapasitas dayanya, yaitu: *random-wound stators* untuk motor dengan kapasitas di bawah ratusan kW, dan *form-wound stators* untuk motor dengan kapasitas diantara 50MVA hingga 100MVA. Konstruksi *random-wound stators* tersusun dari konduktor tembaga terisolasi yang dililitkan secara kontinu melalui sela-sela pada inti stator untuk membentuk sebuah *coil*. Setiap lilitan dapat diletakkan secara acak terhadap lilitan lainnya dalam satu *coil*. Konstruksi *form-wound stators* tersusun dari lilitan terisolasi yang telah dibentuk sebelum dimasukkan pada sela-sela di inti stator. Konduktor tembaga pada *form-wound stators* tersusun dari konduktor-konduktor berukuran kecil (*strand*) yang terisolasi antara satu dengan lainnya[2].



Gambar 2.1 (a) Konstruksi *Random-Wound Stators* (b) Konstruksi *Form-Wound Stators*[2]

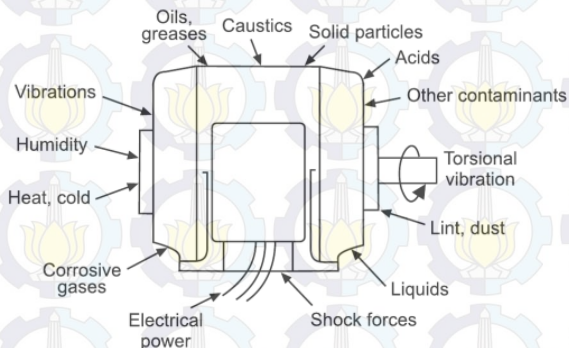
Isolasi stator motor memiliki tiga komponen dasar, yaitu: *strand insulation*, *turn insulation*, dan *groundwall insulation*. Ketiga komponen ini memiliki masing-masing fungsi untuk mencegah terjadinya *short circuit* pada motor. Pada motor jenis *random-wound stators*, *strand insulation* dapat berfungsi sebagai *turn insulation*, yaitu berfungsi untuk mencegah *short circuit* antar belitan. Pada motor *form-wound stators*, *turn insulation* mencegah *short circuit* antar belitan sedangkan *strand insulation* berfungsi untuk mencegah *short circuit* antar konduktor. Komponen lainnya yaitu *groundwall insulation* berfungsi untuk memisahkan konduktor tembaga terhadap inti stator. Dalam hal ini, *groundwall insulation* berfungsi untuk mencegah *short circuit* antara konduktor dengan *ground*[2].



Gambar 2.2 (a) Penampang *Random-Wound Stators Slot*
(b) Penampang *Form-Wound Stators Slot*[2]

2.2. Pengaruh Lingkungan Terhadap Isolasi

Percobaan akselerasi umur sering digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu isolasi terkait dengan umurnya yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Suatu gagasan dikenalkan oleh Mathes pada tahun 1948, untuk mengevaluasi bahan isolasi sesuai dengan kondisi lingkungan kerjanya, dimana satu atau dua faktor kondisi lingkungannya ditingkatkan. Gagasan ini tetap digunakan hingga sekarang[3]. Hal ini dilakukan karena tidak mungkin realistis menunggu, katakanlah 20 tahun untuk mengetahui apakah suatu isolasi telah memenuhi standar.



Gambar 2.3 Faktor yang Dapat Mempengaruhi Umur[6]

Faktor yang dapat mempengaruhi umur adalah *electric power*, *corrosive gases*, *heat*, *cold*, *humidity*, *vibrations*, *oils*, *greases*, *caustics*, *solid particles*, *acids*, *other contaminants*, *torsional vibrations*, *lint*, *dust*, *liquids*, dan *shock forces*. Faktor yang masuk ke dalam motor seperti cairan, zat korosif dan partikel padat dapat mengurangi umur isolasi motor[6].

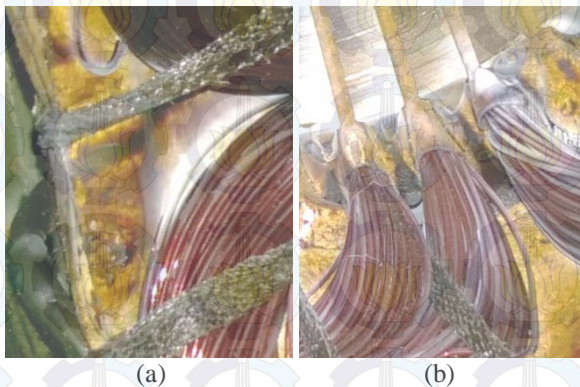
2.2.1. Pengaruh Kelembaban

Kelembaban dapat mempengaruhi tahanan isolasi. Tidak seperti efek temperatur pada tahanan isolasi, efek kelembaban lebih sulit diukur pengaruhnya pada isolasi motor. Namun kelembaban merupakan faktor yang tidak boleh diabaikan ketika mengevaluasi hasil tes sebuah isolai. Tidak seperti suhu, efek kelembaban bukanlah sebuah gradien konstan

dan selama suhu tetap di atas titik embun, kelembaban tidak berefek signifikan pada ketahanan isolasi[1].



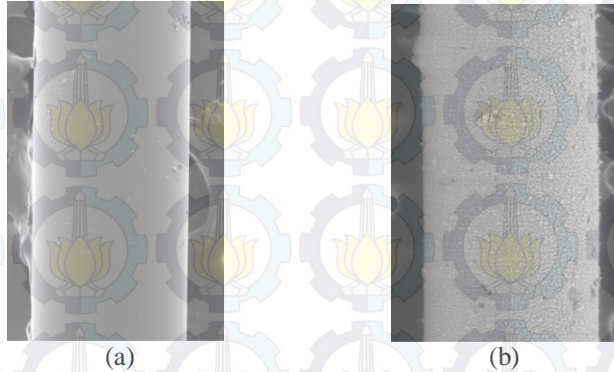
Gambar 2.4 (a) Kondisi Belitan Stator Setelah Dipengaruhi Kelembaban Tinggi (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan Isolasi Belitan Stator[4]



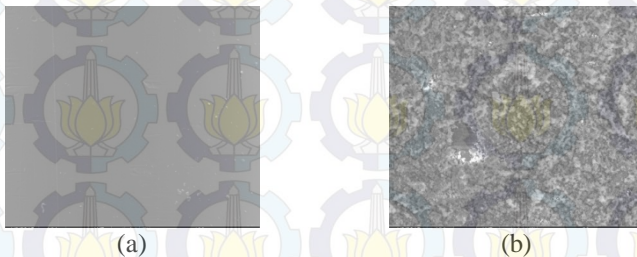
Gambar 2.5 (a) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall* di *End-Winding*[4]

Kelembaban yang terjadi di bawah titik embun terbukti memiliki efek yang kuat terhadap kekuatan dielektrik isolasi. Kelembaban yang dijaga tinggi ($RH = 80\%$) selama beberapa hari mengakibatkan

masuknya uap air ke dalam isolasi. Adanya air pada isolasi membuat kekuatan dielektrik isolasi menurun drastis[7]. Efek dari kelembaban pada motor induksi menimbulkan lapisan berwarna putih yang terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



Gambar 2.6 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kelembaban[4]



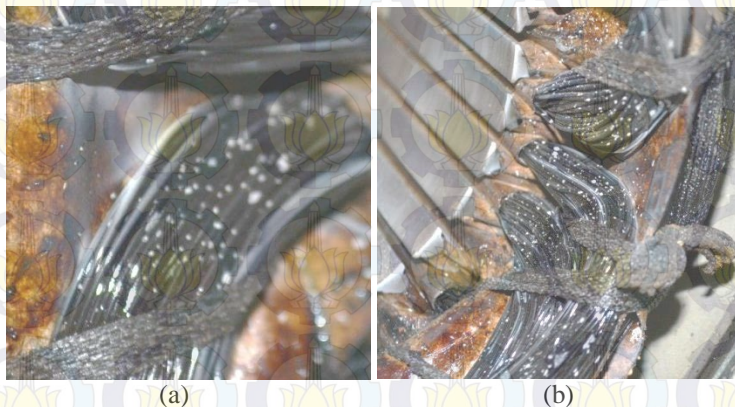
Gambar 2.7 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kelembaban[4]

Dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat diketahui perbandingan kondisi permukaan isolasi antara isolasi dalam

kondisi normal dengan keadaan isolasi yang dipengaruhi kelembaban yang terlihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

2.2.2. Pengaruh Kontaminasi

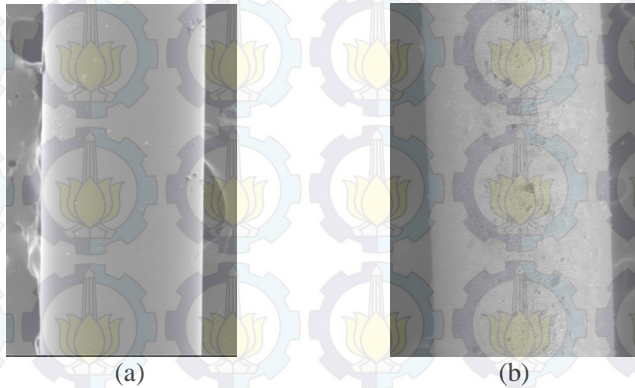
Kontaminasi berupa kabut garam dapat mempengaruhi kinerja motor induksi. Kontaminasi jenis ini dapat ditemukan di daerah laut dan pantai. Iklim laut dan pantai dikenal sebagai lingkungan korosif. Garam yang terkandung dalam tetesan kecil dari kabut air sangat terionisasi dan mampu menyebabkan korosi oksidatif, korosi retakan, dan korosi terutama pada logam galvanis. Tidak hanya bersifat korosif, kabut garam secara signifikan dapat mengurangi kekuatan dielektrik isolasi dan menyebabkan *short circuit*. Untuk menghindari efek dari kabut garam, rangkaian listrik dan perangkat logam pendukung harus dilindungi secara memadai. Perlindungan dirancang harus diverifikasi oleh melalui tes kabut garam/kontaminasi, dan kualitas pembuatan harus dijamin oleh kontrol proses untuk memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis kontaminan[8].



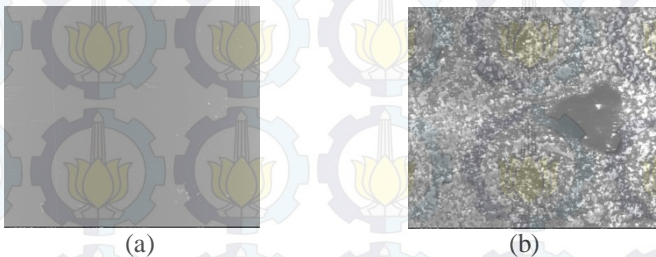
Gambar 2.8 (a) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti (b) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti di *End-Winding*[6]

Dalam menentukan hubungan antara kontaminasi dan kegagalan peralatan listrik, idealnya isolator suatu peralatan diberi paparan

kontaminasi alami. Namun hal ini akan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu metode buatan untuk mengganti kontaminasi alami dikembangkan. Salah satu metode ini adalah pengkabutan, dimana air yang mengandung garam dikabutkan pada area isolator[9]. Efek dari kontaminasi pada motor induksi menimbulkan bercak berwarna putih yang terlihat pada pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kontaminasi[4]



Gambar 2.10 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kontaminasi[4]

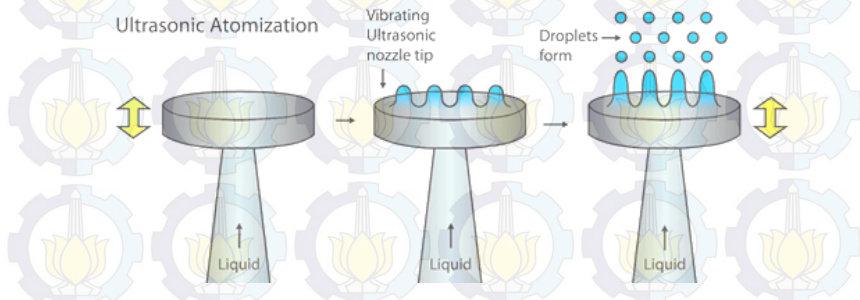
2.3. Atomisasi Cairan

Kelembaban udara di suatu ruangan dapat ditingkatkan dengan menambah uap air. Banyak macam proses untuk menghasilkan uap air, salah satunya dengan proses atomisasi cairan. Atomisasi cairan yaitu proses untuk membuat air menjadi butiran-butiran kecil sehingga dapat terlarut dalam udara. Untuk melakukan proses ini dibutuhkan alat. Banyak macam alat yang dapat digunakan untuk melakukan proses ini, yaitu[10]:

1. *Pressure atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memberi tekanan dan mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung kecil, sehingga air tertekan dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
2. *Rotary atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memutar air dengan kecepatan tinggi, sehingga air terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
3. *Air-assist atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung pertemuan antara air dengan udara bertekanan, sehingga air tertekan udara dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
4. *Airblast atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memberi tekanan dan mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung kecil, ujungnya juga memiliki pertemuan antara air dengan udara bertekanan, sehingga air tertekan udara dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
5. *Effervescent atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara mengalirkan air kedalam ruang kecil dengan udara bertekanan, sehingga air terpecah dan tercampur dengan udara menjadi butiran-butiran kecil.
6. *Ultrasonic atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara menggetarkan air dengan frekuensi tinggi, sehingga air terpecah menjadi butiran-butiran kecil.

Ultrasonic atomizer, *ultrasonic nebulizer*, *ultrasonic humidifier*, atau yang lebih dikenal dengan *mist maker* adalah alat atomisasi cairan menggunakan gelombang ultrasonik. Alat ini bekerja dengan cara memaksa lapisan tipis air untuk berosilasi hingga air menjadi butiran (*droplest*). Proses cara kerja alat ini ditunjukkan pada Gambar 2.11. Lapisan air digetarkan dengan kepingan piezoelektrik pada frekuensi

tinggi (antara 16kHz-2MHz). Berbeda dengan alat atomisasi konvensional yang mengandalkan energi mekanik untuk menghasilkan butiran air, *ultrasonic atomizer* menggunakan energi yang lebih rendah menghasilkan butiran air.[11]



Gambar 2.11 Cara Kerja *Ultrasonic Atomizer*[11]

2.4. Percobaan Akselerasi Umur

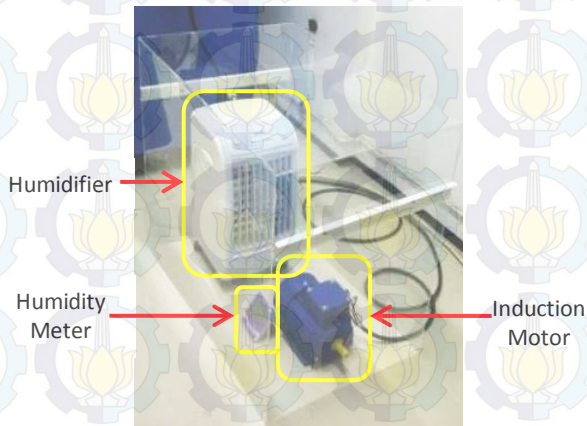
Percobaan akselerasi umur dipengaruhi kontaminasi dan kelembaban telah dilakukan sebelumnya di Teknik Elektro yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, menggunakan komponen sebagai berikut[5]:

1. Humidity Meter, merupakan sensor suhu sekaligus sensor kelembaban yang dapat digunakan untuk menyensor kelembaban dalam ruangan saat pengujian.
2. Humidifier, adalah sejenis alat elektronik yang berfungsi untuk meningkatkan kelembaban dalam suatu ruangan dengan cara menghembuskan udara melewati permukaan air.
3. Kotak berbahan akrilik dengan dimensi $50 \times 80 \times 75 \text{ cm}^3$, kotak dibuat dengan tujuan untuk membuat ruangan agar bisa meningkatkan kelembaban pada peralatan (motor).

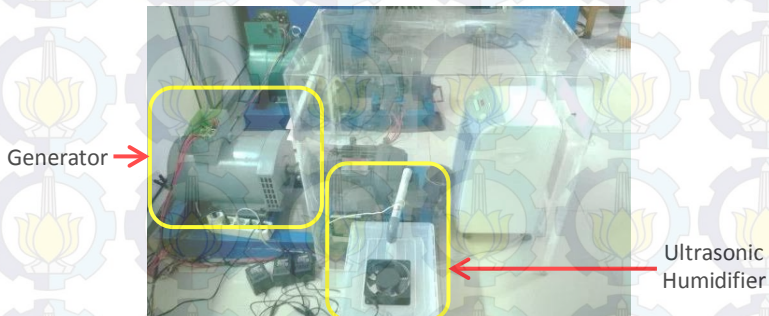
Lalu dilanjutkan dengan penambahan yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, dengan komponen sebagai berikut[4]:

1. Generator sinkron dengan kapasitas daya mencapai 3 kW. Generator tersebut dihubungkan dengan set lampu berdaya total sebesar 1800 kW. Generator dan set lampu ini digunakan sebagai beban motor yang bertujuan untuk meningkatkan temperatur belitan.

2. *Ultrasonic humidifier* tiga buah dengan kapasitas masing-masing 300ml dalam waktu 60 menit untuk meningkatkan kelembaban. *Ultrasonic humidifier* ini yang dimasukkan ke dalam wadah tertutup yang telah berisi air. Pada bagian atas wadah tersebut diberikan saluran pipa keluaran dan *fan*.



Gambar 2.12 Perangkat Percobaan yang Telah Dilakukan[5]



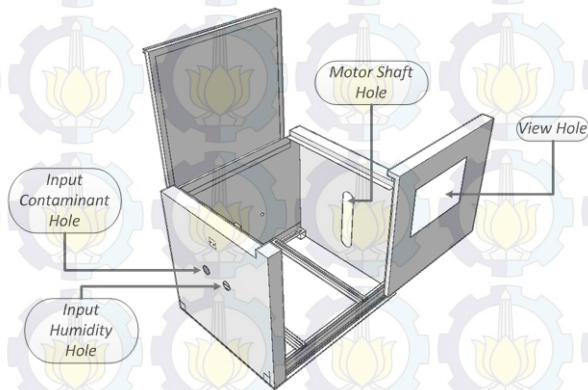
Gambar 2.13 Perangkat Percobaan Lanjutan yang Telah Dilakukan[4]

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini membahas mengenai perancangan dan pembuatan alat yang meliputi: perancangan dan pembuatan bagian mekanik; perancangan dan pembuatan bagian elektrik; dan pemrograman. Hal tersebut guna mewujudkan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”. Dalam pembahasan bab ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Perancangan dan pembuatan bagian mekanik meliputi perancangan *chamber* menggunakan *software* AutoCAD dan hasil jadi rancangan.
2. Perancangan dan pembuatan bagian elektrik meliputi diagram blok sistem dan komponen elektrik yang digunakan.
3. Perancangan dan Pembuatan program meliputi pembuatan program menggunakan *software* Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang menggunakan bahasa C/C++.



Gambar 3.1 Rancangan *Chamber*

3.1. Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik

Untuk membuat gambaran rancangan digunakan *software* AutoCAD dan Visio. *Chamber* dari tugas akhir ini berdimensi 60cm x 50cm x 50cm. Dengan bahan plat besi yang dicat. Mempunyai pintu

depan geser dan pintu atas ungkit untuk memudahkan memasukkan ataupun mengeluarkan peralatan yang akan diuji khususnya Motor Induksi. Pintu depan geser dilengkapi lubang pantau berupa kaca untuk memudahkan dalam memantau keadaan didalam *Chamber*. *Chamber* ini juga memiliki dua lubang *input* untuk masuknya kelembaban dan kontaminasi yang disalurkan melalui pipa *flexible* dari tangki. Rancangan dari *chamber* digambarkan pada Gambar 3.1.

3.1.1. Tangki Kelembaban dan Kontaminasi

Terdapat dua tangki yang digunakan, tangki pertama untuk menyimpan air yang digunakan sebagai sumber kelembaban dan tangki kedua untuk menyimpan larutan garam yang digunakan sebagai sumber kontaminasi. Tangki memiliki kapasitas 10 liter yang dilengkapi dengan *blower* untuk memindahkan kelembaban dan atau kontaminasi dari tangki ke dalam *chamber*.

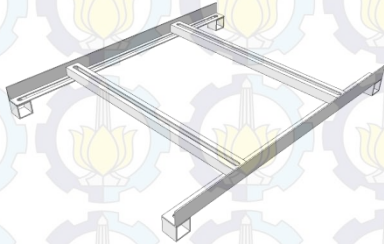


Gambar 3.2 Tangki Kelembaban dan Kontaminasi

3.1.2. Dudukan Motor

Desain perangkat percobaan akselerasi umur ini dimungkinkan untuk menguji bermacam jenis motor induksi. Motor induksi memiliki banyak bentuk sesuai spesifikasinya. Hal ini menyebabkan letak lubang baut untuk menahan *body* motor agar tidak bergerak berbeda untuk

masing-masing motor induksi sesuai spesifikasinya. Untuk itu diperlukan dudukan yang dapat diubah sesuai letak lubang baut penahan motor. Rancangan dari dudukan motor digambarkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rancangan Dudukan Motor

3.1.3. Perwujudan Bagian Mekanik

Perwujudan bagian mekanik ditunjukkan pada Gambar 3.4.



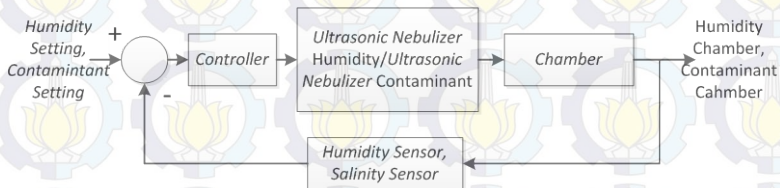
Gambar 3.4 Bagian Mekanik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur

3.2. Perancangan dan Pembuatan Bagian Elektrik

Kontroler yang digunakan pada *chamber* akselerasi umur ini adalah mikrokontroler Arduino Mega. Komponen yang terhubung dengan *pin* Arduino Mega terdiri dari: *ultrasonic nebulizer* untuk

kelembaban, *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi, sensor *humidity* (kelembaban), sensor *salinity* (kontaminasi), dan LCD.

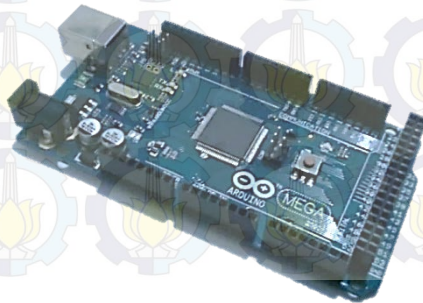
Sensor *humidity* berfungsi untuk mendeteksi kelembaban dalam *chamber*. Sensor *salinity* berfungsi untuk mendeteksi kontaminasi dalam *chamber*. Kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* diatur sesuai yang diinginkan melalui LCD. Ketika kelembaban di dalam *chamber* di bawah *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kelembaban bekerja. Sebaliknya ketika kelembaban di dalam *chamber* di atas *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kelembaban tidak bekerja. Ketika kontaminasi di dalam *chamber* di bawah *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi bekerja. Sebaliknya ketika kontaminasi di dalam *chamber* di atas *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi tidak bekerja.



Gambar 3.5 Diagram Blok Sistem

3.2.1. Arduino Mega

Kontroler yang digunakan adalah Arduino Mega. Arduino Mega adalah mikrokontroler berbasis ATmega2560. Kontroler ini memiliki 54 *pin* digital *input/output* dan 16 *pin* analog *input*. *Software* yang digunakan untuk memprogram kontroler ini adalah Arduino IDE.



Gambar 3.6 Arduino Mega

3.2.2. Ultrasonic Nebulizer

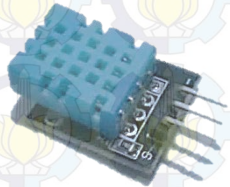
Untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* digunakan *ultrasonic nebulizer*. Alat ini berfungsi untuk menguapkan air dengan cara menggetarkannya pada frekuensi ultrasonik. Satu *ultrasonic nebulizer* yang digunakan memiliki kemampuan menguapkan air sebanyak 250 ml dalam satu jam. Masing-masing untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminasi digunakan 5 *ultrasonic nebulizer*, sehingga kemampuannya menjadi 1250 ml dalam satu jam. Untuk mengatur kelembaban dan kontaminasi yang ditimbulkan alat ini, Arduino Mega mengirimkan sinyal *on-off* pada alat ini sesuai dengan kondisi kelembaban dan kontaminasi yang terukur dan diinginkan dalam *chamber*. *Power supply* untuk alat ini terhubung dengan *pin* A10 untuk *ultrasonic nebulizer* kelembaban dan *pin* A11 untuk *ultrasonic nebulizer* kontaminasi.



Gambar 3.7 *Ultrasonic Nebulizer*

3.2.3. Sensor Kelembaban dan Suhu DHT11

Untuk mengukur kelembaban di dalam *chamber* digunakan sensor DHT11. Selain dapat mengukur kelembaban sensor ini dapat mengukur suhu.



Gambar 3.8 Sensor DHT11

Suhu dari sensor ini dapat digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data digital. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* 50 Arduino Mega.

3.2.4. Sensor Kontaminasi

Untuk mengukur kontaminasi di dalam *chamber* digunakan sensor dengan prinsip konduktivitas. Memiliki dua buah elektroda lithium. Sensor ini bekerja dengan cara mengukur tegangan yang dialirkan dari satu konduktor ke konduktor lain melalui garam yang terlarut dalam fluida cair dan atau gas. Semakin banyak garam yang terlarut tegangan yang terukur semakin tinggi. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* A9 Arduino Mega.



Gambar 3.9 Sensor Kontaminasi

3.2.5. Sensor Suhu LM35

Untuk mengukur suhu pada belitan motor induksi digunakan sensor LM35. Suhu dari sensor ini digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* A8 Arduino Mega.



Gambar 3.10 Sensor LM35

3.2.6. Sensor Suhu DS18B20

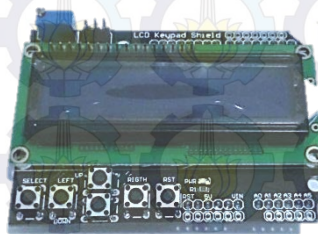
Untuk pilihan lain mengukur suhu pada belitan motor induksi digunakan sensor DS18B20. Suhu dari sensor ini digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin 52* Arduino Mega.



Gambar 3.11 Sensor DS18B20

3.2.7. LCD dan Keypad

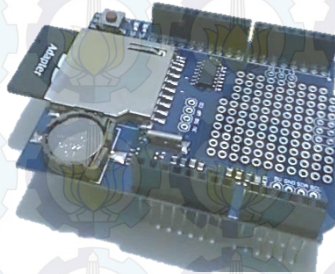
Untuk menampilkan kelembaban, kontaminasi dan suhu yang terukur digunakan LCD dan *Keypad* sebagai medianya. Selain itu melalui LCD dan *Keypad* ini kelembaban dan kontaminasi yang diinginkan dapat ditentukan.



Gambar 3.12 LCD dan Keypad

3.2.8. Data Logger

Untuk menyimpan data waktu, kelembaban, kontaminasi, dan suhu selama masa percobaan digunakan *data logger*. Alat ini menyimpan data yang diukur secara *real time*. Data yang disimpan dapat diubah ke dalam bentuk grafik melalui Excel dan dapat digunakan sebagai data percobaan. Media penyimpanan data yang digunakan adalah *SD Card*.



Gambar 3.13 Data Logger

3.2.9. Perwujudan Bagian Elektrik

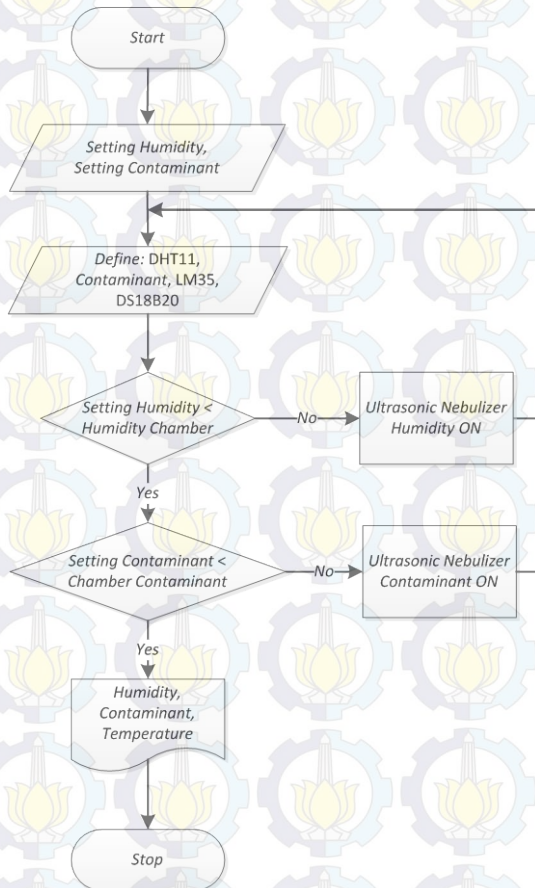
Perwujudan bagian elektrik ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Bagian Elektrik
Perangkat Percobaan Akselerasi
Umur

3.3. Perancangan dan Pembuatan Program

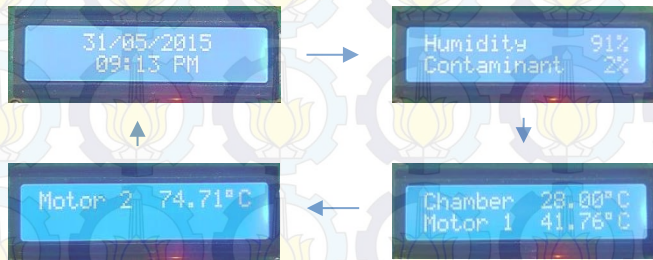
Untuk memprogram kontroler Arduino Mega digunakan *software* Arduino IDE. Perancangan program berupa penyusunan algoritma. Algoritma disusun dalam bentuk *flowchart*.



Gambar 3.15 *Flowchart* Program Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol

3.3.1. Alogaritma Program

Pada Gambar 3.15, tahap *define* berfungsi untuk mendefinisikan *pin* yang digunakan sebagai input sensor sehingga kontroler Arduino Mega dapat mengenali sensor DHT 11, kontaminasi, LM35, dan DS18B20. *Setting input* digunakan untuk mengatur kelembaban dan kontaminasi yang diinginkan. Hasil dari pembacaan sensor dibandingkan dengan *setting*. Jika tidak sama maka terdapat dua kondisi yang terjadi. Saat hasil pembacaan sensor kurang dari *setting*, maka kontroler akan mengirim sinyal *on* untuk menyalakan *ultrasonic nebulizer* jika kondisi awal dalam keadaan tidak aktif. Sebaliknya saat hasil pembacaan sensor lebih dari *setting*, maka kontroler akan mengirim sinyal *off* untuk menonaktifkan *ultrasonic nebulizer*. *Setting* ini hanya digunakan untuk memberi batas minimal.

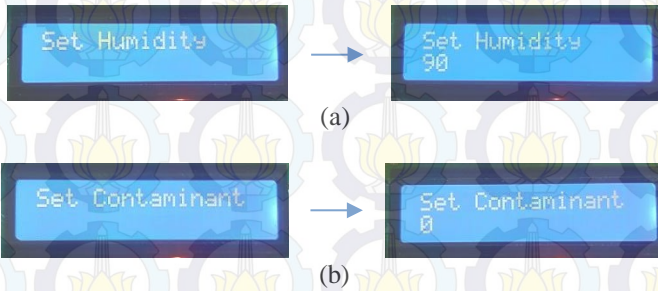


Gambar 3.16 Tampilan Utama LCD

3.3.2. Tampilan Menu LCD

Dalam memudahkan pemantauan dan pengaturan dibuat beberapa tampilan LCD sesuai dengan fungsinya. Beberapa tampilan tersebut antara lain, tampilan utama, tampilan menu *setting* waktu, tampilan menu *setting* kelembaban, dan tampilan menu *setting* kontaminasi. Tampilan menu utama mempunyai fungsi memberikan informasi tentang waktu, kadar kelembaban dalam *chamber*, kadar kontaminasi dalam *chamber*, suhu dalam *chamber*, suhu motor dengan sensor DS18B20 (Motor 1), dan suhu motor dengan sensor LM35 (Motor 2). Tampilan ini bergantian dengan jeda 2 detik yang masing-masing tampilannya ditunjukkan pada Gambar 3.16. Tampilan menu *setting* kelembaban dan kontaminasi ditunjukkan pada Gambar 3.17. Tampilan menu *setting* waktu terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama *setting*

bulan, kedua *setting* hari, ketiga *setting* tahun, keempat *setting* menit, kelima *setting* jam, keenam *setting* AM/PM. Tampilan ini ditunjukkan pada Gambar 3.18.



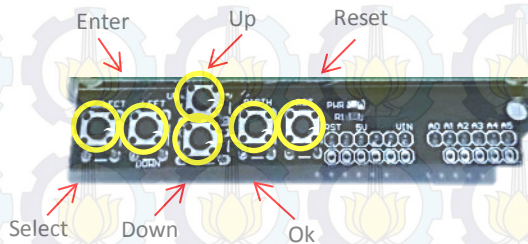
Gambar 3.17 (a) Tampilan Menu *Setting* Kelembaban
(b) Tampilan menu *Setting* Kontaminasi



Gambar 3.18 Tampilan Menu *Setting* Waktu

3.3.3. Fungsi Tombol

Untuk *setting* diperlukan inputan, inputan ini terdiri dari beberapa tombol yang mempunyai fungsinya masing-masing. Tombol tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.19. Tombol *select* mempunyai fungsi untuk masuk ke tampilan menu dari tampilan utama. Selain itu tombol ini digunakan untuk memilih tampilan menu yang diinginkan. Tombol *enter* berfungsi untuk memilih *setting* yang diinginkan. Tombol *up* untuk menambah besaran *setting*. Tombol *down* untuk mengurangi besaran *setting*. Tombol *ok* untuk mengunci besaran yang telah di-*setting*. Tombol *reset* berfungsi untuk mengembalikan *setting* ke keadaan semula.



Gambar 3.19 Tombol Input

3.4. Perwujudan Alat dan Skema Pengujian

Terdapat dua pengujian yang akan dilakukan. Pengujian pertama untuk mengetahui kinerja alat dalam mengontrol kelembaban dan kontaminasi. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi yang ditunjukkan Tabel 3.1.

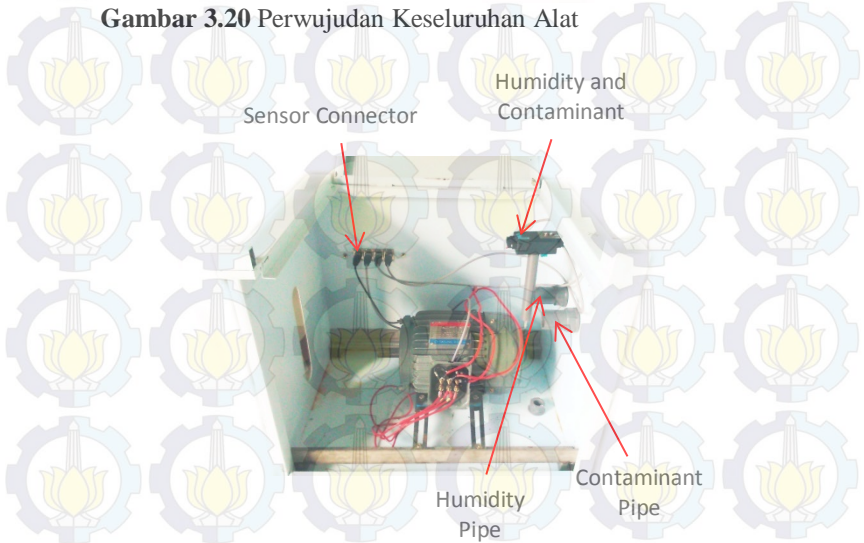
Tabel 3.1 Skema Pengujian Kontrol

Case	Setting (%)	Time (minute)
Humidity Control	80	20
	85	20
	90	20
Contaminant Control	20	20
	30	20
	40	20
Humidity ⁽¹⁾ and Contaminant ⁽²⁾ Control	90 ⁽¹⁾ 30 ⁽²⁾	30
	95 ⁽¹⁾ 20 ⁽²⁾	30
	100 ⁽¹⁾ 10 ⁽²⁾	30

Perwujudan alat yang akan diuji ditunjukkan oleh Gambar 3.20 dan Gambar 3.21. Dalam pengujian yang dilakukan, dalam *chamber* diletakkan motor indukksi yang sedang bekerja.

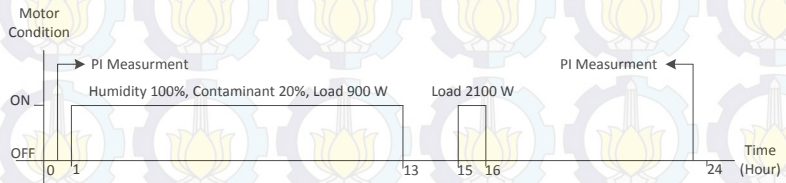


Gambar 3.20 Perwujudan Keseluruhan Alat



Gambar 3.21 Kondisi dalam Chamber

Pengujian kedua untuk mengetahui kinerja alat dalam memberikan efek penuaan pada isolasi motor induksi. Dengan skema pengujian dalam 24 jam yang terlihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.21 Skema Pengujian Penuaan

Pengujian ini dilakukan selama 3x24 jam. Dengan objek pengujian motor induksi 1,5kW yang terlihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Motor Induksi 1,5kW

BAB IV

VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT

Bab ini membahas mengenai validasi dan pengujian alat. Hal tersebut guna mewujudkan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”. Validasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan pembacaan tiap sensor pada alat Tugas Akhir ini. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan tiap sensor pada alat Tugas Akhir dengan alat pembaca kelembaban dan suhu komersial dengan merk EXTECH.

4.1. Validasi Sensor Kelembaban DHT11

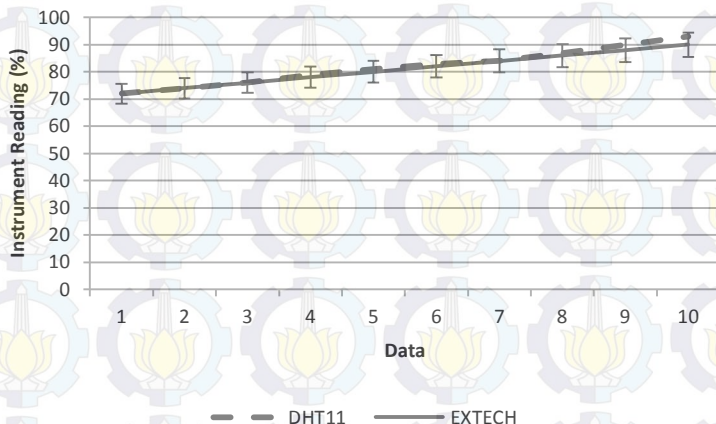
Validasi sensor kelembaban DHT11 dilakukan di ruang tertutup. Sensor kelembaban DHT11 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Kelembaban awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikkan kelembaban digunakan *ultrasonic nebulizer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan kelembaban yang berbeda.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Sensor Kelembaban DHT11

DHT11 (% RH)	EXTECH (% RH)	Error (%)
72	72	0,00
74	74	0,00
76	76	0,00
79	78	1,28
81	80	1,25
83	82	1,22
84	84	0,00
87	86	1,16
90	88	2,27
93	90	3,33
<i>Avarage Error</i>		1,05

Hasil pembacaan sensor kelembaban DHT11 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat. Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor kelembaban DHT11 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang

ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat kelembaban 90% yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 3,33% yang terhitung masih di bawah toleransi *error*. Dari Gambar 4.1 terlihat hasil validasi dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data, *error* rata-ratanya sebesar 1,05%.



Gambar 4.1 Grafik Toleransi *Error* Sensor Kelembaban DHT11

4.2. Validasi Sensor Suhu DHT11

Validasi sensor suhu DHT11 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu DHT11 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi suhu ruangan, lalu untuk menaikkan suhu digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu DHT11 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

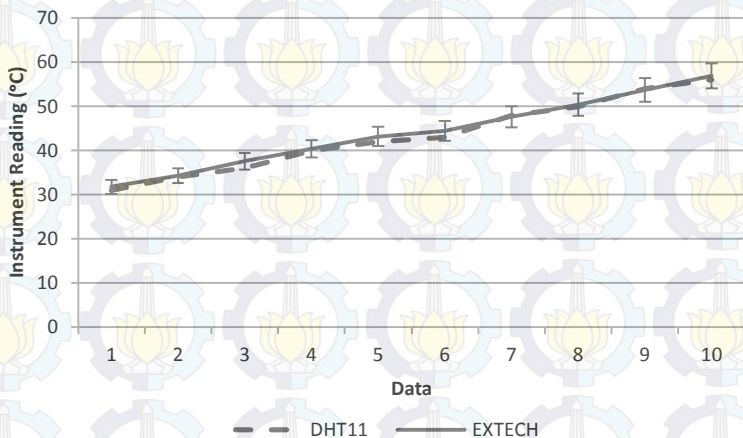
Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11

DHT11 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
31,00	31,80	2,52
34,00	34,30	0,87
36,00	37,60	4,26
40,00	40,40	0,99

Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11

DHT11 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
42,00	43,20	2,78
43,00	44,50	3,37
48,00	47,60	0,84
50,00	50,40	0,79
54,00	53,70	0,56
56,00	56,90	1,58
<i>Avarage Error</i>		1,86

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu DHT11 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat suhu 37,6°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 4,26% yang terhitung mendekati toleransi *error* namun masih di bawahnya. Dari Gambar 4.2 terlihat hasil validasi dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data *error* rata-ratanya sebesar 1,86%.



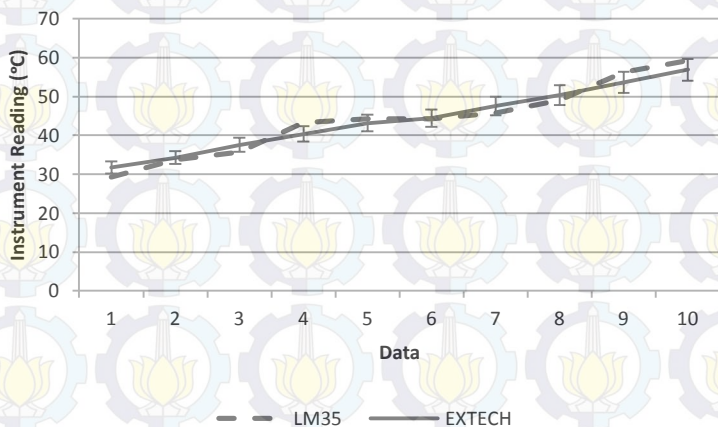
Gambar 4.2 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu DHT11

4.3. Validasi Sensor Suhu LM35

Validasi sensor suhu LM35 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu LM35 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikkan kelembaban digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu LM35 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

Tabel 4.3 Hasil Validasi Sensor Suhu LM35

LM35 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
29,25	31,80	8,02
33,76	34,30	1,57
35,74	37,60	4,95
43,23	40,40	7,00
44,23	43,20	2,38
44,25	44,50	0,56
45,74	47,60	3,91
48,98	50,40	2,82
56,25	53,70	4,75
59,25	56,90	4,13
<i>Average Error</i>		4,01



Gambar 4.3 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu LM35

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu LM35 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat suhu 31,8°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 8,02% yang terhitung berada di atas toleransi *error*. Namun dari kesepuluh data *error* rata-ratanya sebesar 4,01% yang terhitung mendekati toleransi *error* namun masih di bawahnya. Dari Gambar 4.3 terlihat hasil validasi dari sensor suhu LM35 terhadap toleransi *error*.

4.4. Validasi Sensor Suhu DS18B20

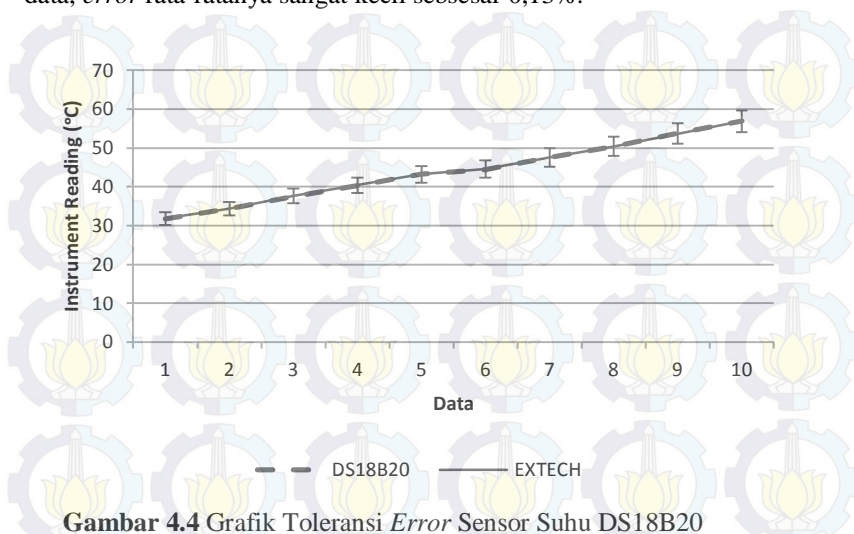
Validasi sensor suhu DS18B20 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu DS18B20 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikkan kelembaban digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu DS18B20 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

Tabel 4.4 Hasil Validasi Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
31,68	31,80	0,38
34,33	34,30	0,09
37,56	37,60	0,11
40,33	40,40	0,17
43,25	43,20	0,12
44,49	44,50	0,02
47,50	47,60	0,21
50,37	50,40	0,06
53,76	53,70	0,11
56,88	56,90	0,04
<i>Avarage Error</i>		0,13

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat 31,8°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 0,38% yang terhitung masih berada jauh di bawah toleransi *error*. Dari Gambar 4.4 terlihat hasil validasi

dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data, *error* rata-ratanya sangat kecil sebesar 0,13%.



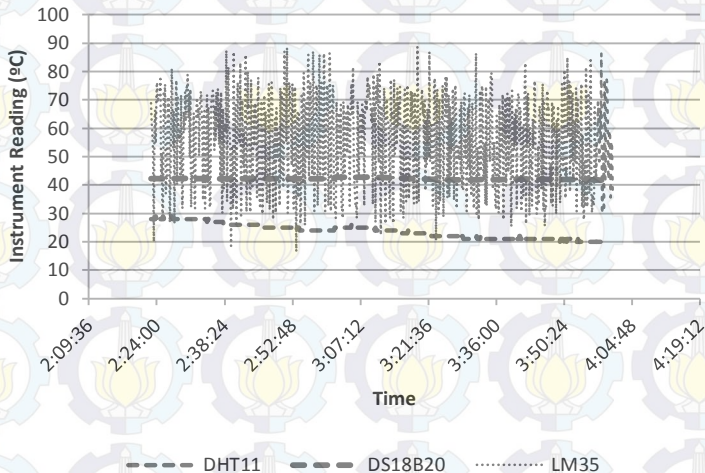
Gambar 4.4 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu DS18B20

4.5. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu DHT11, LM35, dan DS18B20 dilakukan bersamaan dengan pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi. Hasil pengukuran suhu dari semua sensor suhu disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*. Data yang dihasilkan dalam format txt. Untuk membuat grafik dari data dilakukan menggunakan Excel dengan memanfaatkan data dengan format txt tersebut.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.5. Dari grafik tersebut terlihat suhu yang terukur oleh masing-masing sensor. Sensor DHT11 mengukur suhu di dalam *chamber* sedangkan sensor LM35 dan DS18B20 mengukur suhu dalam motor. Hasil pengukuran sensor DHT11 menunjukkan hasil pembacaan yang stabil. Penurunan suhu yang terjadi sesuai dengan hasil pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi. Hasil pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi menunjukkan peningkatan kelembaban yang mempengaruhi turunnya suhu. Hasil pengukuran sensor LM35 menunjukkan hasil pembacaan yang fluktuatif. Hal ini terjadi karena sensor ini terpengaruhi induksi pada motor. Sensor ini diletakkan dalam motor dan menempel pada belitan stator. Dari grafik yang dihasilkan

sensor ini tidak dapat digunakan untuk melakukan percobaan akselerasi umur. Hasil pengukuran sensor DS18B20 menunjukkan hasil pembacaan yang stabil. Hal ini sesuai dengan suhu kerja motor sebesar kurang lebih 40°C.



Gambar 4.5 Pengujian Sensor Suhu

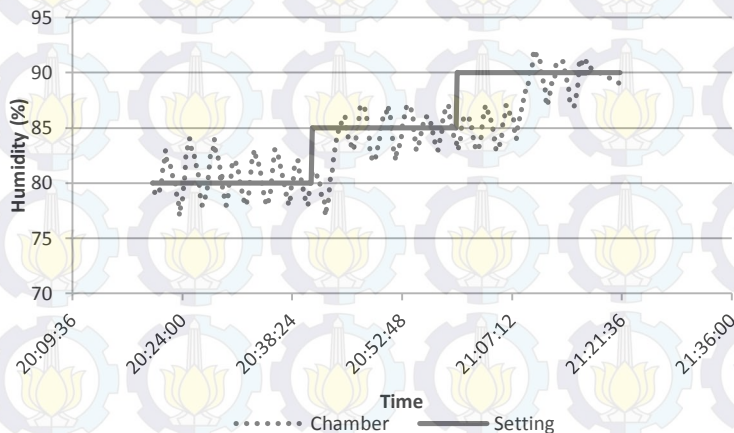
4.6. Pengujian Kontrol Kelembaban

Pengujian kontrol kelembaban dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan hanya mengatur kelembabannya saja. Kelembaban di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 80%, besaran kedua sebesar 85%, dan besaran ketiga sebesar 90%. Masing- masing *setting* dijalankan selama 20 menit. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kelembaban saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kelembaban DHT11 yang telah di validasi. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.6. Dari grafik tersebut terlihat kelembaban yang terukur dalam

chamber fluktuatif namun mengikuti *setting*. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kelembaban dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kelembaban. Perubahan kelembaban yang terjadi dalam hal ini pun cukup cepat.



Gambar 4.6 Pengujian Kontrol Kelembaban

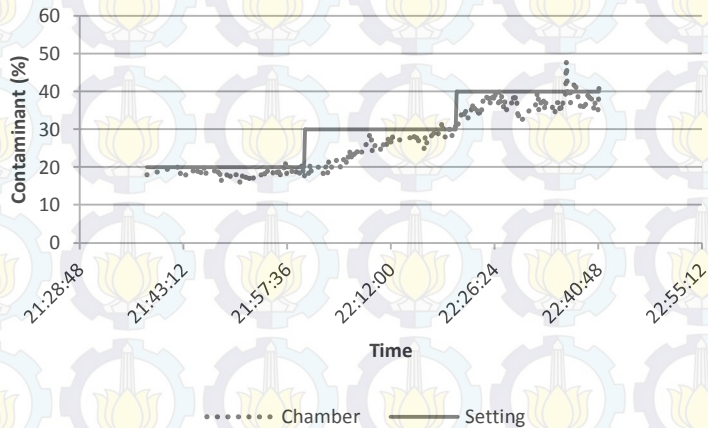
4.7. Pengujian Kontrol Kontaminasi

Pengujian kontrol kontaminasi dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan hanya mengatur kontaminasinya saja. Kontaminasi di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 20%, besaran kedua sebesar 30%, dan besaran ketiga sebesar 40%. Masing-masing *setting* dijalankan selama 20 menit. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kontaminasi saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kontaminasi. Sensor ini tidak dapat divalidasi karena ketidaktersediaan alat komersial. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.7. Dari grafik tersebut terlihat kontaminasi yang terukur dalam *chamber* mengikuti *setting* meskipun sedikit lambat dan sering di bawah

setting. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kontaminasi dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kontaminasi.



Gambar 4.7 Pengujian Kontrol Kontaminasi

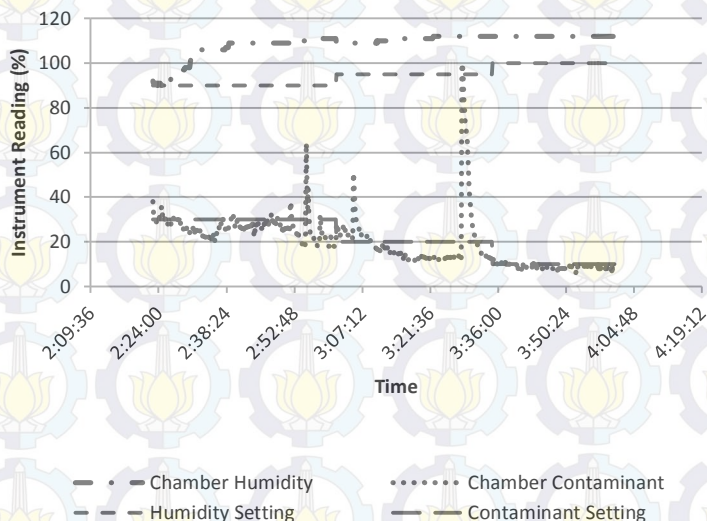
4.8. Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi

Pengujian kontrol kontaminasi dan kontaminasi dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan mengatur kelembaban dan kontaminasi bersama-sama. Kelembaban di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 90%, besaran kedua sebesar 95%, dan besaran ketiga sebesar 100%. Kontaminasi di *setting* dengan tiga besaran berbeda juga. Besaran pertama sebesar 30%, besaran kedua sebesar 20%, dan besaran ketiga sebesar 10%. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kontaminasi saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kelembaban DHT11 dan kontaminasi diukur dengan sensor kontaminasi. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.8. Dari grafik tersebut terlihat kontaminasi yang terukur dalam

chamber mengikuti *setting* meskipun sedikit lambat dan sering berada di bawah *setting*. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kontaminasi dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kontaminasi. Terlihat sempat terjadi lonjakan jumlah kontaminasi yang terukur. Hal ini dapat terjadi karena garam yang tidak terlarut dengan baik. Sehingga saat larutan garam dengan konsentrasi tinggi mengenai sensor garam terjadi lonjakan pengukuran. Dari grafik tersebut juga terlihat keadaan kelembaban yang tidak mengikuti *setting*. Hal ini terjadi karena untuk menguapkan garam digunakan air sebagai pelarutnya. Saat kontaminasi di bawah *setting*, *ultrasonic nebulizer* yang menguapkan garam bekerja. Hal ini secara tidak langsung juga menaikkan kelembaban di dalam *chamber*. Data yang dihasilkan juga menunjukkan supersaturasi pada kelembaban. Hal ini dapat terjadi karena uap air yang diberikan terus-menerus. Uap air yang sebelumnya berwujud gas menjadi cair namun tetap melayang di udara. Kondisi uap air yang menjadi cair namun tetap melayang di udara disebut kondisi supersaturasi.



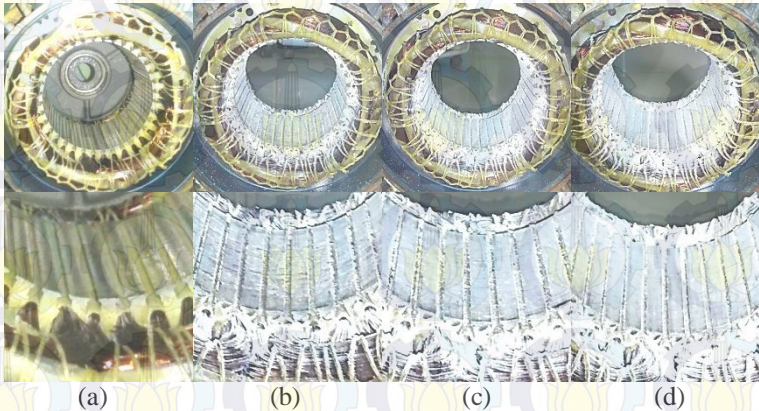
Gambar 4.8 Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi

4.9. Pengujian Akselerasi Umur

Pengujian akselerasi umur dilakukan selama 3 kali dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. 1 jam pengukuran
2. 12 jam motor ON dengan *setting* kelembaban *chamber* 100%, kontaminasi 20%, beban 900 W
3. 2 jam motor OFF
4. 1 jam motor ON dengan beban 2100 W (*overload* → *output* motor 1500W) → menghilangkan kelembaban dan memberi *stress*
5. 7 jam motor OFF → pendinginan
6. 1 jam pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan MEGGER MIT400 untuk melihat nilai *Insulation Resistance* (IR) pada menit pertama dan kesepuluh. IR menit kesepuluh dan pertama dibandingkan untuk mengetahui nilai *Polarization Index* PI. Pengukuran dilakukan pada tiap belitan motor induksi.



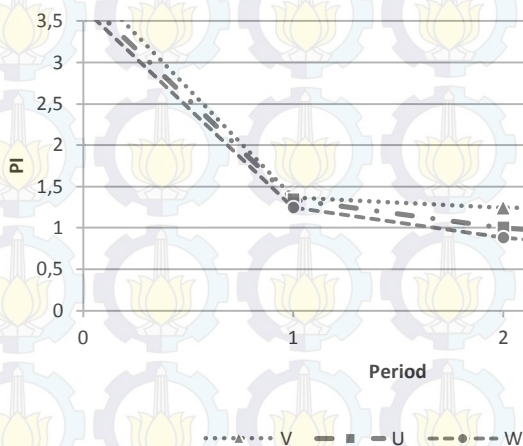
Gambar 4.9 (a) Kondisi Awal (b) Kondisi Pengujian Pertama (c) Kondisi Pengujian Kedua (d) Kondisi Pengujian Ketiga

Dari pengujian yang didapat alat ini telah mampu memberikan efek penuaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 yang menggambarkan keadaan belitan di stator. Belitan ini telah terkontaminasi garam dan jika dicermati terjadi penambahan garam di tiap pengujiannya.

Dari data pada Tabel 4.5 hasil pengukuran juga didapatkan data yang menunjukkan penurunan PI di tiap pengujiannya yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Hal ini mengindikasikan telah terjadi efek penuaan pada motor induksi.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran IR dan PI

	Turn	IR 1minute (M Ω)	IR 10minute (M Ω)	PI
Initial Condition	V	2140,00	9500,00	>4,00
	U	2640,00	>10000,00	>3,78
	W	2730,00	>10000,00	>3,66
First Test Condition	V	446,00	611,00	1,37
	U	350,00	470,00	1,34
	W	690,00	860,00	1,25
Second Test Condition	V	242,00	222,00	0,92
	U	47,90	47,90	1,00
	W	212,00	187,00	0,88
Third Test Condition	V	170,00	109,00	0,64
	U	42,50	35,40	0,83
	W	197,00	129,00	0,65



Gambar 4.10 Penurunan PI di Tiap Pengujian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chalmers, B. J., *“Electric Motor Handbook”*, Butterworths, 1988.
- [2] Stone, Greg C., Edward A. Boulter, Ian Culbert and H. Dhirani, *“Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing and Repair”*, IEEE Press Series on Power Engineering, 2004.
- [3] Rizk, A.M. Farouk., Giao N. Trinh, *“High Voltage Engineering”*, CRC Press, Taylor & Francis, 2014.
- [4] Wahyudi, Mochammad, *“Analisis Akselerasi Umur Isolasi Motor Induksi Karena Pengaruh Kelembaban dan Kontaminasi Berdasarkan Pengukuran PI (Polarization Index)”*, ITS, 2015.
- [5] Novianti, Siti Sudatul Aisyah, *“Pengujian dan Simulasi Sistem Isolasi Motor pada Beberapa Kondisi Lingkungan di Laboratorium”*, ITS, 2014.
- [6] M.V.Deshpande, *“Electric Motor: Application & Control”*, .A.H Wheeler and Co.Ltd, 1990.
- [7] Soltani, Reza., Eric David, Laurent Lammarré, *“The Impact of Humidity on Partial Discharge Activity of Large Rotating Machines”*, Conference Record of the 2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (ISEI), pp. 1-6, 2010.
- [8] Tautscher, *“Contamination Effects on Electronics Products”*, CRC Press, Taylor & Francis, 1991.
- [9] Yamamoto, Mitsuyoshi., Kenzo Ohashi, *“Salt Contamination of External Insulation of High-Voltage Apparatus and Its Countermeasures”*, Power Apparatus and Systems, Part III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, pp. 380-387, 1961.
- [10] Lefebvre, Arthur H., *“Atomization and Sprays”* CRC Press, Taylor & Francis, 1989.
- [11] Gallego-Juárez, Juan A, Karl F Graff, *“Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound”*, Elsevier, 2014.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perancangan, pembuatan, validasi dan pengujian alat Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi” dapat ditarik beberapa kesimpulan.

Alat Tugas Akhir ini telah mampu bekerja sesuai dengan tujuan dan batasan yang ditentukan. Saat kelembaban dan atau kontaminasi berada di bawah *setting* alat ini mampu mengkondisikan kelembaban dan atau kontaminasi mengikuti *setting* meskipun respons alat terlambat. Saat kontaminasi ditingkatkan kadarnya dalam *chamber*, kelembaban ikut bertambah. Supersaturasi dapat terjadi pada alat Tugas Akhir ini. Alat ini juga telah mampu memberikan efek penuaan

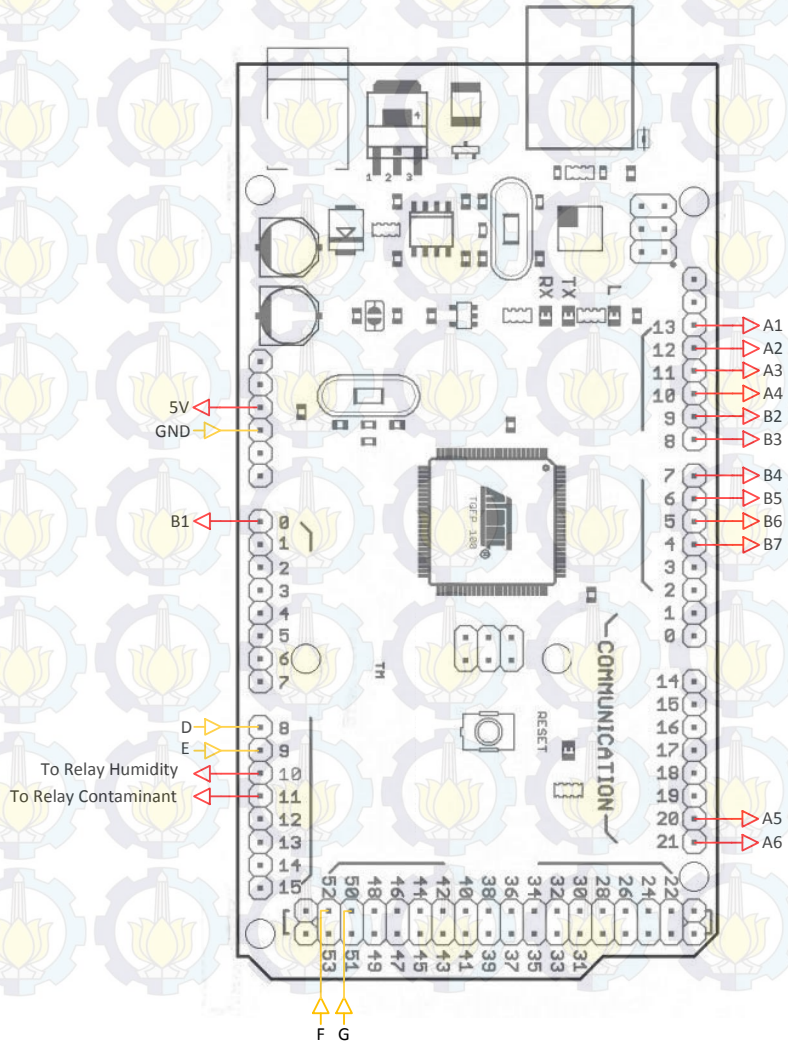
5.2. Keberlanjutan Penelitian

Untuk meningkatkan respons dalam mengatur kelembaban dan kontaminasi perlu adanya penelitian tersendiri. Penelitian tersebut membahas tentang pemilihan sensor kelembaban dan kontaminasi yang mempunyai respons baik. Penelitian berkaitan akselerasi umur karena pengaruh kelembaban dan kontaminasi yang ditingkatkan dapat dilakukan dengan alat ini.

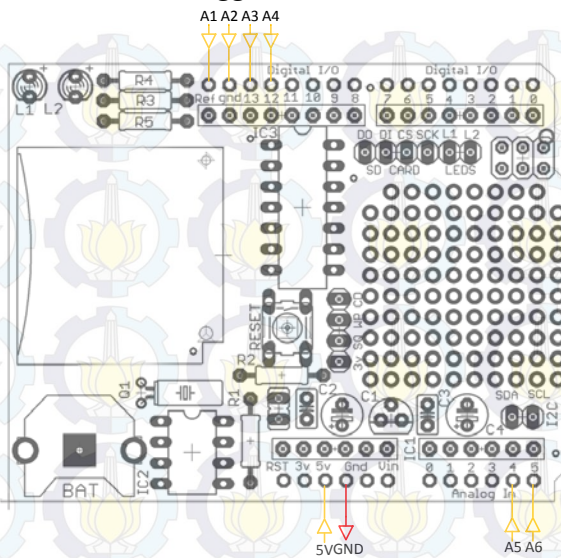


LAMPIRAN A

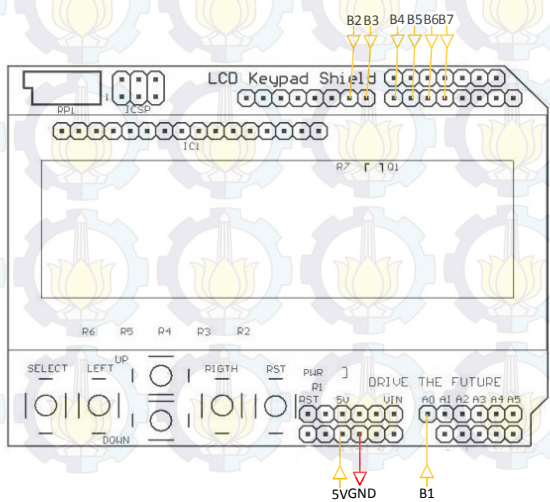
Skema Elektrik Kontrol



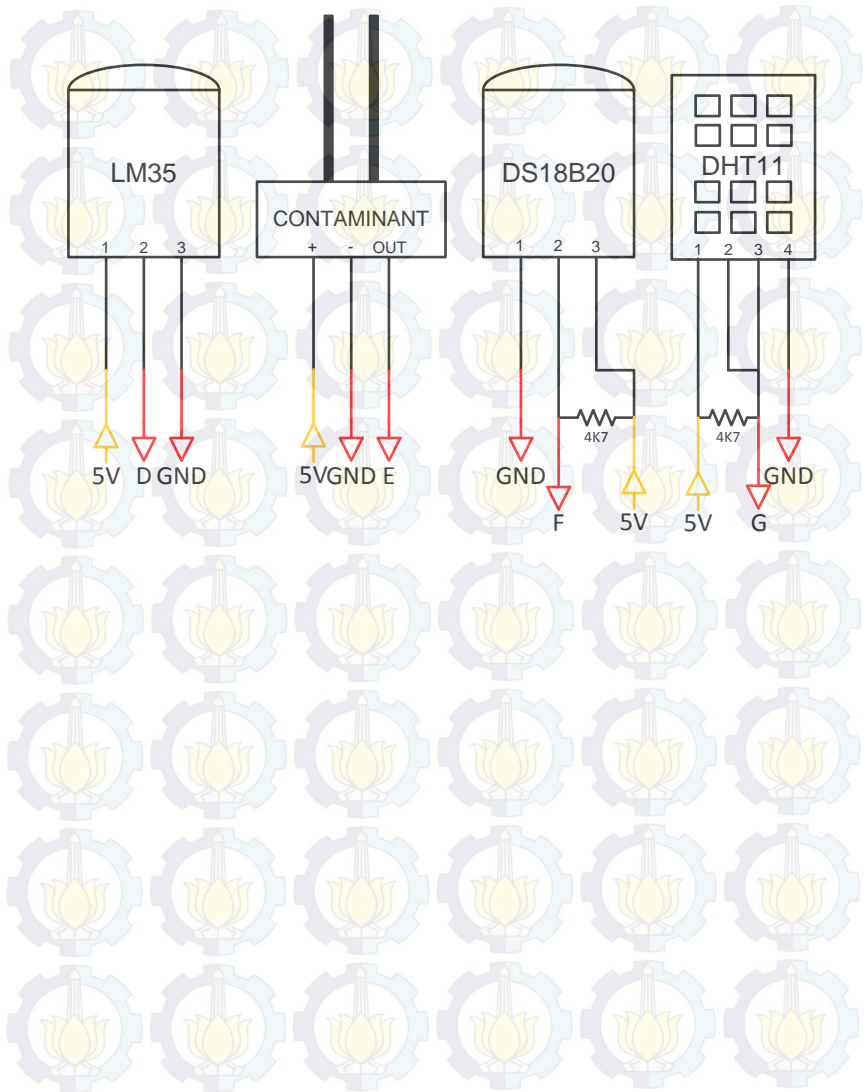
Skema Elektrik Data Logger



Skema Elektrik LCD dan Keypad



Skema Elektrik Sensor





LAMPIRAN B

Listing Program

```
#include "Wire.h"
#include "RTClib.h"
#include "LiquidCrystal.h"
#include "SPI.h"
#include "SD.h"
#include "DHT.h"
#include "OneWire.h"
#include "DallasTemperature.h"

#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5
#define beeper A1
#define shortBeep 100
#define longBeep 500
#define CS 10
#define DHTPIN 50
#define DHTTYPE DHT11
#define ONE_WIRE_BUS 52

RTC_DS1307 RTC;
DateTime now;
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
File dataFile;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int chipSelect = 10;
const int LM35 = A8;
const int CONT = A9;
const int pirPin = 16;

int rLM35;
int rCONT;
int oHUM = A10;
int oCONT = A11;
int lcd_key = 0;
int adc_key_in = 0;
int read_LCD_buttons() {
    adc_key_in = analogRead(0);
```

```

if (adc_key_in < 50) return btnRIGHT;
if (adc_key_in < 195) return btnUP;
if (adc_key_in < 380) return btnDOWN;
if (adc_key_in < 555) return btnLEFT;
if (adc_key_in < 790) return btnSELECT;
return btnNONE;
}
int lastDay = 0;
int lastMonth = 0;
int lastYear = 0;
int lastHour = 0;
int lastMinute = 0;

int menuOptions = 3;
int menuOption = 0;
int sensorOptions = 3;
int sensorOption = 0;
int humidity = 80 ;
int contaminant = 10;

bool resetClock = false;

double tempC, t, tt;
int cont, h;
char data[40];

void setup () {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(beeper, OUTPUT);
  digitalWrite(beeper, LOW);
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(oHUM, OUTPUT);
  pinMode(oCONT, OUTPUT);
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
  }
  dht.begin();
  sensors.begin();
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  pinMode(SS, OUTPUT);
  if (!SD.begin(10, 11, 12, 13)) {
    Serial.println("SD Card initialization failed!");
    return;
  }
  Serial.println("Opening logfile for write.");
  dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
  if (!dataFile) {

```

```

Serial.println("error opening log file");
while (1);
}
}

void loop () {
  now = RTC.now();
  rLM35 = analogRead(LM35);
  rCONT = analogRead(CONT);
  tempC = (rLM35 / 1024.0) * 500;
  cont = (rCONT * 226.8 + 79.8)/1024;
  if (cont > 100)
    cont = 100;
  if (h < 0)
    cont = 0;
  h = dht.readHumidity() + 17;
  if (h > 100)
    t = 100;
  if (h < 0)
    t = 0;
  t = dht.readTemperature();
  sensors.requestTemperatures();
  tt = sensors.getTempCByIndex(0) + 0.2;
  dataLog();
  digitalClockDisplay();
  button_loop();
  if (h < humidity)
    digitalWrite(oHUM, HIGH);
  else
    digitalWrite(oHUM, LOW);
  if (cont < contaminant)
    digitalWrite(oCONT, HIGH);
  else
    digitalWrite(oCONT, LOW);
}

void printDigits(byte digits) {
  if(digits < 10)
    lcd.print('0');
    lcd.print(digits,DEC);
}

void digitalClockDisplay() {
  // lcdClear();
  button_loop();
  bool clockPM = 0;
  if (now.day() != lastDay || resetClock == true) {
    lcd.begin(16,2);
    lcd.setCursor(3,0);

```

```

printDigits(now.day());
lcd.print("/");
printDigits(now.month());
lcd.print("/");
int thisYear = now.year();
lcd.print(thisYear, DEC);
}
if (now.minute() != lastMinute || resetClock == true) {
  lcd.setCursor(4,1);
  if(now.hour() > 11) {
    if (now.hour() == 12) {
      printDigits(now.hour());
    }
    else {
      printDigits(now.hour()-12);
    }
  }
  lcd.print(":");
  printDigits(now.minute());
  clockPM = true;
  lcd.print(" PM ");
}
else {
  printDigits(now.hour());
  lcd.print(":");
  printDigits(now.minute());
  clockPM = false;
  lcd.print(" AM ");
}
}
resetClock = false;
lastDay = now.day();
lastMonth = now.month();
lastYear = now.year();
lastHour = now.hour();
lastMinute = now.minute();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();
dataSensor1();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();
dataSensor2();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();

```



```

dataSensor3();
button_loop();
delay (1200);
}

void dataSensor1 (){
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Humidity");
  lcd.setCursor(12,0);
  if(h < 10)
    lcd.print(" ");
  if(h < 100 and h > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(h);
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Contaminant");
  lcd.setCursor(12,1);
  if(cont < 10)
    lcd.print(" ");
  if(cont < 100 and cont > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(cont);
  lcd.print("%");
}

void dataSensor2 (){
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Chamber");
  lcd.setCursor(8,0);
  if(t < 10)
    lcd.print(" ");
  if(t < 100 and t > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(t);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Motor 1");
  lcd.setCursor(8,1);
  if(tt < 10)
    lcd.print(" ");
  if(tt < 100 and tt > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(tt);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
}

```

```
}
```

```
void dataSensor3 () {  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Motor 2");  
  lcd.setCursor(8,0);  
  if(tempC < 10)  
    lcd.print(" ");  
  if(tempC < 100 and tempC > 9)  
    lcd.print(" ");  
  lcd.print(tempC);  
  lcd.print((char)223);  
  lcd.print("C");  
}
```

```
void dataLog () {  
  File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);  
  if (dataFile) {  
    dataFile.print(now.year(), DEC);  
    dataFile.print("/");  
    dataFile.print(now.month(), DEC);  
    dataFile.print("/");  
    dataFile.print(now.day(), DEC);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(now.hour(), DEC);  
    dataFile.print(":");  
    dataFile.print(now.minute(), DEC);  
    dataFile.print(":");  
    dataFile.print(now.second(), DEC);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(h);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(cont);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(t);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(tt);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(tempC);  
    dataFile.println();  
    dataFile.close();  
  }  
  Serial.print(now.year(), DEC);  
  Serial.print("/");  
  Serial.print(now.month(), DEC);  
  Serial.print("/");  
  Serial.print(now.day(), DEC);  
  Serial.print(",");
```

```

Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(",");
Serial.print(h);
Serial.print(",");
Serial.print(cont);
Serial.print(",");
Serial.print(t);
Serial.print(",");
Serial.print(tt);
Serial.print(",");
Serial.print(tempC);
Serial.println();
}

void button_loop() {
  int button = read_LCD_buttons();
  if (button == btnSELECT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    selectMenu();
  }
}

void selectMenu() {
  int button = 0;
  menuOption = 1;
  lcdClear();
  lcd.print("Set Date/Time");
  while (menuOption <= menuOptions) {
    button = read_LCD_buttons();
    if (button == btnSELECT) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      menuOption++;
      if (menuOption == 2) {
        lcdClear();
        lcd.print("Set Humidity");
      }
      if (menuOption == 3) {
        lcdClear();
        lcd.print("Set Contaminant");
      }
    }
  }
  if (button == btnLEFT) {
    if (menuOption == 1) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      setDateAndTime();
    }
  }
}

```

```

    return;
}
if (menuOption == 2) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    setHumidity();
    return;
}
if (menuOption == 3) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    setContaminant();
    return;
}
}
}

void setDateTime() {
    int button = 0;
    char *ampm = "AM";
    int setMonth = getTimerMinutes("Set Month", lastMonth, 12);
    if (setMonth > 0 && setMonth < 13) {
        int setDay = getTimerMinutes("Set Day", lastDay, 31);
        if (setDay > 0 && setDay < 32) {
            int setYear = getTimerMinutes("Set Year", lastYear, 2999);
            if (setYear > 2000 && setYear < 3000) {
                int thisHour = lastHour;
                if (thisHour > 12) {
                    thisHour -= 12;
                    ampm = "PM";
                }
                int setHour = getTimerMinutes("Set Hour", thisHour, 12);
                if (setHour > 0 && setHour < 13) {
                    int setMinute = getTimerMinutes("Set Minute", lastMinute, 59);
                    if (setMinute < 60) {
                        lcdClear();
                        lcd.print("Toggle AM/PM");
                        lcd.setCursor(0,1);
                        lcd.print(setHour);
                        lcd.print(":");
                        if (setMinute < 10)
                            lcd.print("0");
                        lcd.print(setMinute);
                        lcd.setCursor(6,1);
                        lcd.print(ampm);
                        button = 6;
                    }
                    while (button != btnSELECT && button != btnRIGHT) {
                        button = read_LCD_buttons();
                        if (button == btnUP || button == btnDOWN) {
                            timedBeep(shortBeep,1);

```



```

        if (ampm == "AM") {
            ampm = "PM";
        }
        else {
            ampm = "AM";
        }
        lcd.setCursor(6,1);
        lcd.print(ampm);
    }
}
if (button == btnRIGHT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    if (ampm == "PM")
        setHour = setHour + 12;
    RTC.adjust(DateTime(setYear,setMonth,setDay,setHour,setMinute));
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Saving... ");
    delay(1000);
    return;
}
else {
    timerCancelled("");
    return;
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
}

void setHumidity() {
    int button = 0;
    lcdClear();

```

```

lcd.print("Set Humidity");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(humidity);
while (button != btnSELECT) {
  button = read_LCD_buttons();
  Serial.println(button);
  if (button == btnLEFT) {
    if ((humidity + 10) <= 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      humidity = humidity + 10;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnUP) {
    if (humidity < 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      humidity++;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnDOWN) {
    if (humidity > 0) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      humidity--;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnRIGHT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Saving... ");
    delay(1000);
    return;
  }
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(humidity);
  lcd.print(" ");
}
return;
}

```

```

void setContaminant () {
  int button = 0;

```

```

lcdClear();
lcd.print("Set Contaminant");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(contaminant);
while (button != btnSELECT) {
  button = read_LCD_buttons();
  Serial.println(button);
  if (button == btnLEFT) {
    if ((contaminant + 10) <= 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant = contaminant + 10;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnUP) {
    if (contaminant < 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant++;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnDOWN) {
    if (contaminant > 0) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant--;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnRIGHT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Saving... ");
    delay(1000);
    return;
  }
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(contaminant);
  lcd.print(" ");
}
return;
}

```

```

int getTimerMinutes(char timerText[], int startNum, int maxTimerMinutes) {

```

```

int minutes = startNum;
int button = 0;
lcdClear();
lcd.print(timerText);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(minutes);
while (button != btnSELECT) {
    button = read_LCD_buttons();
    Serial.println(button);
    if (button == btnLEFT) {
        if ((minutes + 10) <= maxTimerMinutes) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes = minutes + 10;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnUP) {
        if (minutes < maxTimerMinutes) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes++;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnDOWN) {
        if (minutes > 0) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes--;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnRIGHT) {
        timedBeep(shortBeep,1);
        return minutes;
    }
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(minutes);
    lcd.print(" ");
}
return 0;
}

```

```

void timedBeep(int beepTime, int beepTimerMinutes) {
    for (int i = 0; i < beepTimerMinutes; i++) {

```



```
digitalWrite(beeper, HIGH);  
delay(beepTime);  
digitalWrite(beeper, LOW);  
delay(beepTime);  
}
```

```
void lcdClear() {  
  resetClock = true;  
  lcd.clear();  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.setCursor(0,0);  
}
```

```
void timerCancelled(char message[]) {  
  lcdClear();  
  lcd.print(message);  
  lcd.print(" Cancelled");  
  timedBeep(shortBeep,3);  
}
```





Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN ACCELERATING AGING TEST CHAMBER WITH HUMIDITY AND CONTAMINANT CONTROL FOR INDUCTION MOTOR

Student Name : Daniel Mahardhika
NRP : 2213105052
Advisor I : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
NIP : 198109052005011002
Advisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP : 197007121998021001

ABSTRACT

Insulation is an important part of the induction motor to prevent from short circuit. Each insulation material has a different resistance to withstand electric current. Insulation strength can be reduced due to environmental influences such as humidity and contaminant. To determine the effect of moisture and contamination on insulation, especially in induction motors needs a method. The method known as accelerating aging. This method is done by conditioning the isolation environment with a level above normal conditions. To accommodate accelerating aging of the induction motor insulation due moisture and kontaminsai needed a tool. Hence made a chamber with humidity and contamination that can be controlled. This chamber is able to imcrease moisture and contamination with working induction motor inside.

Keywords :

Insulation, Induction Motor, Accelerating Aging, Humidity, Contaminant, Chamber.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.

Tugas Akhir dengan judul:

“Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini demikian pula selama perkuliahan, penulis tidak lepas dari petunjuk, bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan baik dalam bentuk apapun yang berguna untuk menunjang pembuatan Tugas Akhir ini, secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan selama ini.
2. Bapak Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. dan Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, dukungan dan ilmu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu.
4. Teman-teman di Teknik Elektro, terima kasih banyak atas bantuan dan dorongan kalian semua selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini semoga dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi acuan dalam perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi selanjutnya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
PENGESAHAN	
PERNYATAAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I - PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sistematika	2
 BAB II – AKSELERASI UMUR	
2.1. Isolasi Motor	5
2.1.1. Pembagian Kelas Isolasi	6
2.1.2. Sistem Isolasi Stator Motor	7
2.2. Pengaruh Lingkungan Terhadap Isolasi	9
2.2.1. Pengaruh Kelembaban	9
2.2.2. Pengaruh Kontaminasi	12
2.3. Atomisasi Cairan	14
2.4. Percobaan Akselerasi Umur	15
 BAB III - PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
3.1. Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik	17
3.1.1. Tangki Kelembaban dan Kontaminasi	18
3.1.2. Dudukan Motor	18
3.1.3. Perwujudan Bagian Mekanik	19
3.2. Perancangan dan Pembuatan Bagian Elektrik	19
3.2.1. Arduino Mega	20
3.2.2. <i>Ultrasonic Nebulizer</i>	21
3.2.3. Sensor Kelembaban dan Suhu DHT11	21
3.2.4. Sensor Kontaminasi	22

3.2.5. Sensor Suhu LM35	22
3.2.6. Sensor Suhu DS18B20.....	23
3.2.7. LCD dan <i>Keypad</i>	23
3.2.8. <i>Data Logger</i>	24
3.2.9. Perwujudan Bagian Elektrik.....	24
3.3. Perancangan dan Pembuatan Program	25
3.3.1. Alogaritma Program	26
3.3.2. Tampilan Menu LCD.....	26
3.3.3. Fungsi Tombol	28
3.4. Perwujudan Alat dan Skema Pengujian	28

BAB IV - VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT

4.1. Validasi Sensor Kelembaban DHT11	31
4.2. Validasi Sensor Suhu DHT11.....	32
4.3. Validasi Sensor Suhu LM35.....	34
4.4. Validasi Sensor Suhu DS18B20	35
4.5. Pengujian Sensor Suhu	36
4.6. Pengujian Kontrol Kelembaban.....	37
4.7. Pengujian Kontrol Komtaminasi	38
4.8. Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi.....	39
4.9. Pengujian Akselerasi Umur.....	41

BAB V - PENUTUP

5.1. Kesimpulan	43
5.2. Keberlanjutan Penelitian	43

DAFTAR PUSTAKA	45
-----------------------------	----

LAMPIRAN A

Skema Elektrik.....	A-1
---------------------	-----

LAMPIRAN B

<i>Listing Program</i>	B-1
------------------------------	-----

BIOGRAFI PENULIS	C-1
-------------------------------	-----

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1].....	5
Tabel 3.1 Skema Pengujian	28
Tabel 4.1 Hasil Validasi Sensor Kelembaban DHT11	31
Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11	32
Tabel 4.3 Hasil Validasi Sensor Suhu LM35.....	34
Tabel 4.4 Hasil Validasi Sensor Suhu DS18B20	35
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran IR dan PI.....	42



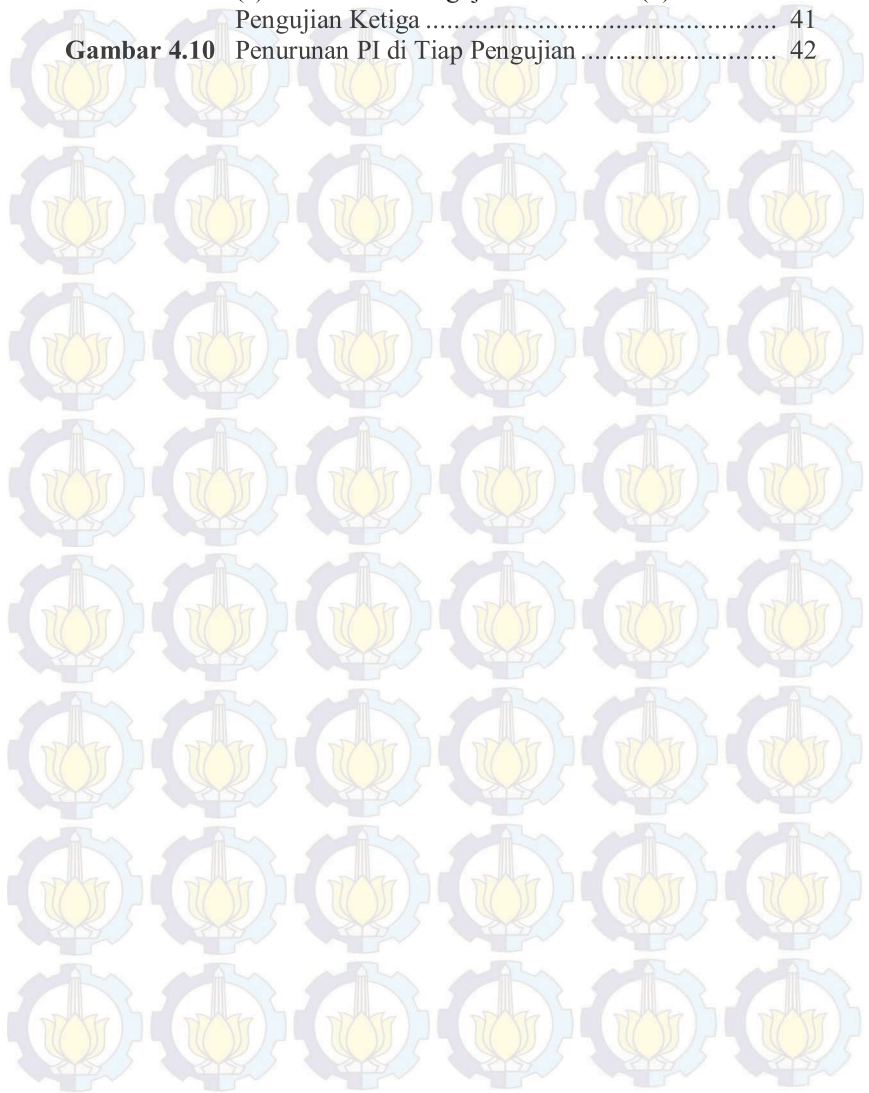
Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 (a) Konstruksi <i>Random-Wound Stators</i> (b) Konstruksi <i>Form-Wound Stators</i> [2]	7
Gambar 2.2 (a) Penampang <i>Random-Wound Stators Slot</i> (b) Penampang <i>Form-Wound Stators Slot</i> [2]	8
Gambar 2.3 Faktor yang Dapat Mempengaruhi Umur[6]	9
Gambar 2.4 (a) Kondisi Belitan Stator Setelah Dipengaruhi Kelembaban Tinggi (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan Isolasi Belitan Stator[4]	10
Gambar 2.5 (a) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall</i> di <i>End-Winding</i> [4]	10
Gambar 2.6 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kelembaban[4]	11
Gambar 2.7 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kelembaban[4]	11
Gambar 2.8 (a) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti (b) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan <i>Groundwall Insulation</i> di Sekitar <i>Slot</i> Inti di <i>End-Winding</i> [6]	12
Gambar 2.9 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kontaminasi[4]	13
Gambar 2.10 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kontaminasi[4]	13
Gambar 2.11 Cara Kerja <i>Ultrasonic Atomizer</i> [11]	15
Gambar 2.12 Perangkat Percobaan yang Telah Dilakukan[5]	16

Gambar 2.13	Perangkat Percobaan Lanjutan yang Telah Dilakukan[4].....	16
Gambar 3.1	Rancangan <i>Chamber</i>	17
Gambar 3.2	Tangki Kelembaban dan Kontaminasi	18
Gambar 3.3	Rancangan Dudukan Motor.....	19
Gambar 3.4	Bagian Mekanik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur	19
Gambar 3.5	Diagram Blok Sistem.....	20
Gambar 3.6	Arduino Mega.....	20
Gambar 3.7	<i>Ultrasonic Nebulizer</i>	21
Gambar 3.8	Sensor DHT11	21
Gambar 3.9	Sensor Kontaminasi	22
Gambar 3.10	Sensor LM35	22
Gambar 3.11	Sensor DS18B20.....	23
Gambar 3.12	LCD dan <i>Keypad</i>	23
Gambar 3.13	<i>Data Logger</i>	24
Gambar 3.14	Bagian Elektrik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur	24
Gambar 3.15	<i>Flowchart</i> Program Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol	25
Gambar 3.16	Tampilan Utama LCD.....	26
Gambar 3.17	(a) Tampilan Menu <i>Setting</i> Kelembaban (b) Tampilan menu <i>Setting</i> Kontaminasi.....	27
Gambar 3.18	Tampilan Menu <i>Setting</i> Waktu	27
Gambar 3.19	Tombol <i>Input</i>	28
Gambar 3.20	Perwujudan Keseluruhan Alat	29
Gambar 3.21	Kondisi dalam <i>Chamber</i>	29
Gambar 3.22	Skema Pengujian Penuaan.....	30
Gambar 3.22	Motor Induksi 1,5kW	30
Gambar 4.1	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Kelembaban DHT11	32
Gambar 4.2	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu DHT11.....	33
Gambar 4.3	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu LM35.....	34
Gambar 4.4	Grafik Toleransi <i>Error</i> Sensor Suhu DS18B20	36
Gambar 4.5	Pengujian Sensor Suhu.....	37
Gambar 4.6	Pengujian Kontrol Kelembaban.....	38
Gambar 4.7	Pengujian Kontrol Kontaminasi.....	39
Gambar 4.8	Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi ..	40

Gambar 4.9 (a) Kondisi Awal (b) Kondisi Pengujian Pertama
(c) Kondisi Pengujian Kedua (d) Kondisi
Pengujian Ketiga 41
Gambar 4.10 Penurunan PI di Tiap Pengujian 42

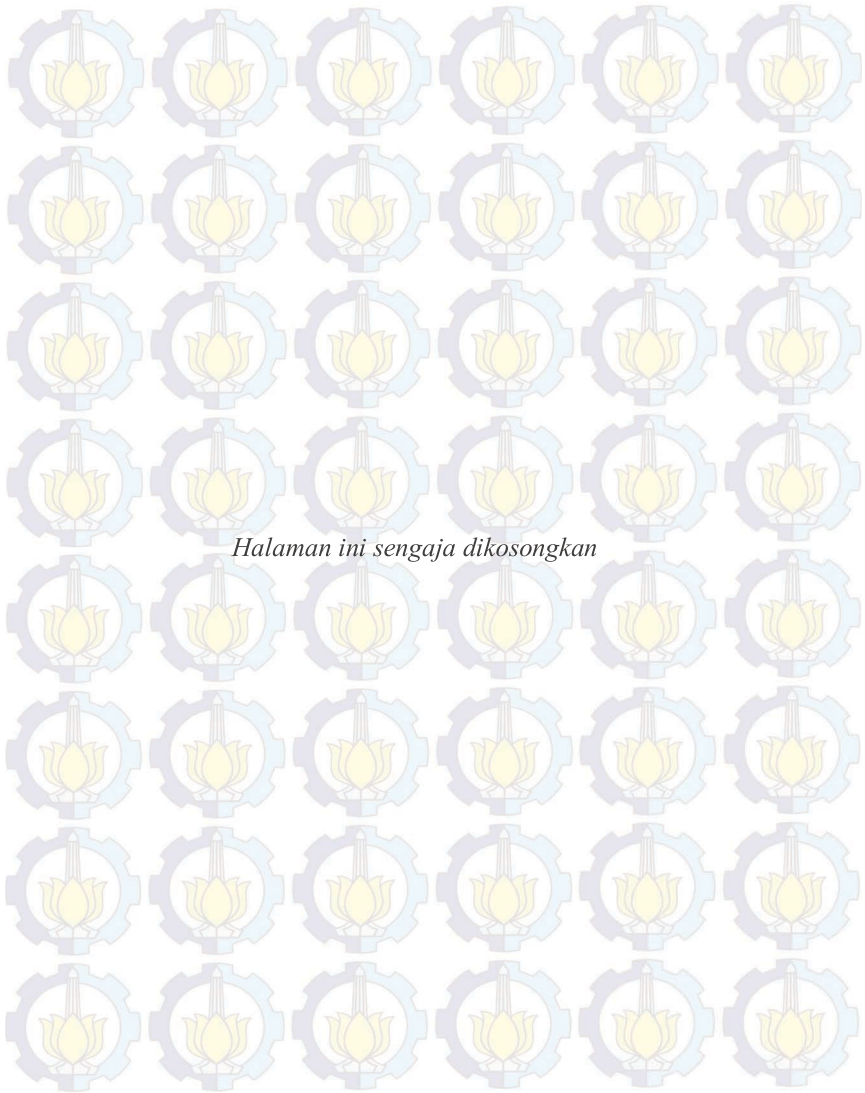




BIOGRAFI PENULIS



Daniel Mahardhika lahir di Probolinggo, Jawa Timur, 19 Agustus 1991. Menempuh pendidikan formal di TK Taruna Dra Zulaeha pada Tahun 1996-1998. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Taruna Dra Zulaeha hingga tahun 2004. Setelah lulus dari jenjang pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Taruna Dra Zulaeha. Pada tahun 2007, penulis memilih untuk melanjutkan pendidikan di tempat yang sama dengan jenjang yang berbeda, yaitu SMA Taruna Dra Zulaeha dan diselesaikan pada tahun 2013. Penulis melanjutkan kuliah di D3 Teknik Elektro Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga tahun 2013. Untuk mendapatkan gelar sarjana, penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan selesai pada tahun 2015.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kelistrikan isolasi mempunyai peran penting untuk mencegah terjadinya *short circuit*. Isolasi berfungsi untuk memisahkan suatu rangkaian listrik dari rangkaian listrik lainnya dan dari komponen yang dapat menghantarkan listrik. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik[1]. Isolasi pada motor adalah bagian yang penting agar motor dapat bekerja dengan normal. Pada motor induksi isolasi ini biasanya terdapat pada bagian stator. Isolasi stator motor memiliki tiga komponen dasar, yaitu: *strand insulation*, *turn insulation*, dan *groundwall insulation*. Ketiga komponen ini memiliki masing-masing fungsi berbeda dalam mencegah terjadinya *short circuit* pada motor[2].

Untuk mengetahui kemampuan isolasi diperlukan suatu metode untuk mengevaluasi kemampuan isolasi. Percobaan akselerasi umur sering digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu isolasi terkait dengan umurnya yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Suatu gagasan dikenalkan oleh Mathes pada tahun 1948, untuk mengevaluasi bahan isolasi sesuai dengan kondisi lingkungan kerjanya, dimana satu atau dua faktor kondisi lingkungannya ditingkatkan. Gagasan ini tetap digunakan hingga sekarang[3]. Hal ini dilakukan karena tidak mungkin realistis menunggu, katakanlah 20 tahun untuk mengetahui apakah suatu isolasi telah memenuhi standar. Banyak faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi. Beberapa faktor tersebut antara lain berupa kelembaban dan kontaminasi. Kelembaban dan kontaminasi dapat mempercepat kegagalan isolasi dari suatu peralatan listrik [4,5].

Di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pengujian dan simulasi akselerasi umur dipengaruhi kontaminasi dan kelembaban telah dilakukan. Namun dalam pengujian tersebut didapatkan data yang belum memadai karena perangkat percobaan akselerasi umur yang digunakan. Perangkat percobaan yang digunakan berupa sebuah *chamber* yang dindingnya terbuat dari akrilik. Kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* yang dihasilkan oleh *humidifier* tidak terkontrol. Kontaminasi di dalam *chamber* juga tidak terukur[4,5].

Dalam Tugas Akhir ini, ada beberapa permasalahan yang ditekankan. Pertama kelembaban udara dalam *chamber* yang belum terkontrol. Kedua kontaminasi di udara dalam *chamber* yang belum terukur. Ketiga kontaminasi di udara dalam *chamber* yang belum terkontrol.

Pada pembuatan alat untuk Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi” mempunyai beberapa batasan. Pertama kelembaban udara dalam *chamber* dikontrol dengan batasan kemampuan dari alat penguap yang berisi air. Kedua kontaminasi di udara dalam *chamber* dikontrol dengan batasan kemampuan dari alat penguap yang berisi larutan garam. Ketiga kontrol yang digunakan hanya untuk memberikan batas minimal.

Terdapat beberapa tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini. Pertama mendesain sebuah perangkat percobaan akselerasi umur dengan kelembaban dan kontaminasi terkontrol. Kedua membuat sebuah perangkat percobaan akselerasi umur dengan kelembaban dan kontaminasi terkontrol.

Relevansi dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebuah alat yang dapat mengakomodasi percobaan akselerasi umur dengan pengaruh kelembaban dan kontaminasi.

1.2. Sistematika

Dari proses pembuatan alat pada Tugas Akhir ini yang dimulai dari perancangan, pembuatan, validasi dan pengujian yang didapat maka diwujudkan ke dalam bentuk buku laporan. Laporan ini terdiri dari lima BAB.

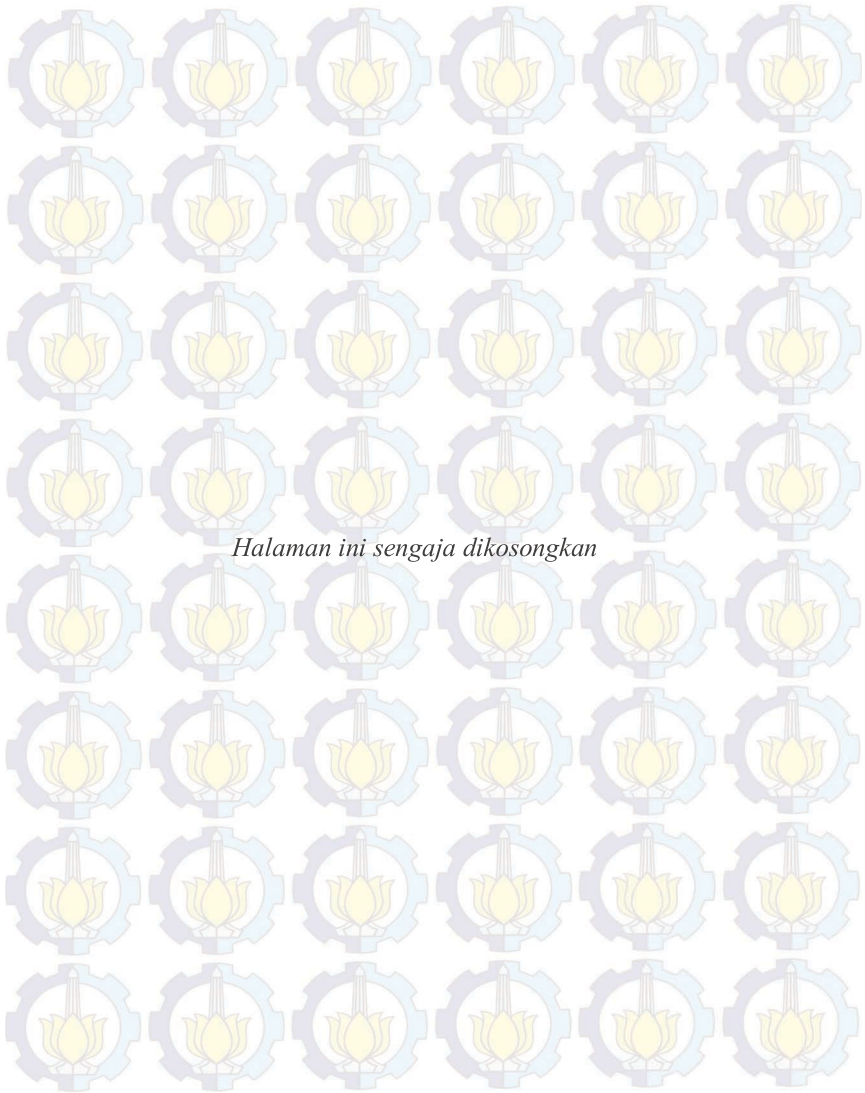
BAB I dengan judul “PENDAHULUAN” berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan Tugas Akhir. Latar belakang bercerita tentang alasan pengambilan judul Tugas Akhir. Perumusan masalah diambil dari keadaan yang terjadi di latar belakang. Batasan masalah menentukan batasan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini agar realistis tercapai. Tujuan menceritakan yang akan dicapai dari Tugas Akhir ini. Sistematika penulisan menggambarkan tentang isi laporan.

BAB II dengan judul “AKSELERASI UMUR” berisi tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pengerjaan Tugas Akhir. Dasar teori dan tinjauan pustaka diambil dari tugas akhir yang pernah dilakukan berkaitan dengan Tugas Akhir yang dikerjakan.

BAB III dengan judul “PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT” berisi tentang perancangan dari Tugas Akhir yang berwujud sebuah alat dan pembuatannya. Perancangan dan pembuatan meliputi bagian mekanik, elektrikal, program, dan skema pengujian.

BAB IV dengan judul “VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT” berisi tentang hasil validasi dan pengujian alat. Validasi dilakukan untuk menentukan kelayakan komponen yang digunakan dilihat dari *error* yang dihitung. Pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan alat sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

BAB V dengan judul “PENUTUP” berisi tentang kesimpulan dan keberlanjutan penelitian dari Tugas Akhir. Kesimpulan menjabarkan hasil yang telah didapat. Keberlanjutan penelitian berisi saran dan gambaran untuk pengerjaan penelitian yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.



BAB II

AKSELERASI UMUR

2.1. Isolasi Motor

Dalam kelistrikan isolasi berfungsi untuk memisahkan suatu rangkaian listrik dari rangkaian listrik lainnya dan dari komponen yang dapat menghantarkan listrik. Setiap bahan isolasi mempunyai ketahanan yang berbeda untuk menahan arus listrik. Kemampuan dari suatu bahan isolasi didefinisikan sebagai konstanta permitivitas listrik relatif atau dielektrik. Untuk nilai konstanta dielektrik masing-masing bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1[1].

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1]

<i>Material</i>	<i>Permittivity at 20°C</i>
<i>Air</i>	1.0006
<i>Hydrogen</i>	1.0003
<i>Carbon dioxide</i>	1.0009
<i>Transformer oil</i>	2.2-2.6
<i>Glass</i>	3.5- 10.0
<i>Mica (muscovite)</i>	6.0- 8.0
<i>Mica (phlogopite)</i>	5.0- 6.0
<i>Porcelain</i>	5.5-6.5
<i>Shellac</i>	3.0-4.0
<i>Bitumen</i>	2.0- 3.0
<i>Phenolic resin</i>	5.0-6.0
<i>Alkyd resin</i>	5.8- 6.2
<i>Epoxy resin</i>	3.3-5.5
<i>Polyester resin</i>	3.0-5.0
<i>Silicone resin</i>	3.0-4.8
<i>Cellulose paper (dry)</i>	2.0-3.0
<i>Aramid paper (dry)</i>	2.2- 2.6
<i>Asbestos paper (untreated)</i>	5.0-7.0
<i>Asbestos paper (epoxy-treated)</i>	2.5-3.0
<i>Natural rubber</i>	2.5- 5.0
<i>Nitrile rubber</i>	3.5-10.0
<i>Chloroprene rubber</i>	7.0-10.0

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Beberapa Bahan[1]

Material	Permittivity at 20°C
<i>Butyl rubber</i>	2.0-4.0
<i>Silicone rubber</i>	2.5- 8.0
<i>Chlorosuphonated polyethylene rubber</i>	6.5-7.5
<i>Phenolic-bonded paper</i>	3.0-6.0
<i>Phenolic-bonded cotton cloth</i>	5.0-7.0
<i>Polyester-bonded glass cloth</i>	4.5-7.0
<i>Epoxy-bonded glass cloth</i>	4.0-6.5
<i>Silicone-bonded glass cloth</i>	2.8-4.0
<i>Epoxy-bonded glass-backed mica paper</i>	4.8-5.2
<i>Polystyrene</i>	2.4-2.6
<i>Polyethylene</i>	2.2- 3.0
<i>Polytetrafluoroethylene (PTFE)</i>	2.0-2.3
<i>Polyvinylchloride (PVC)</i>	3.5-4.0

2.1.1. Pembagian Kelas Isolasi

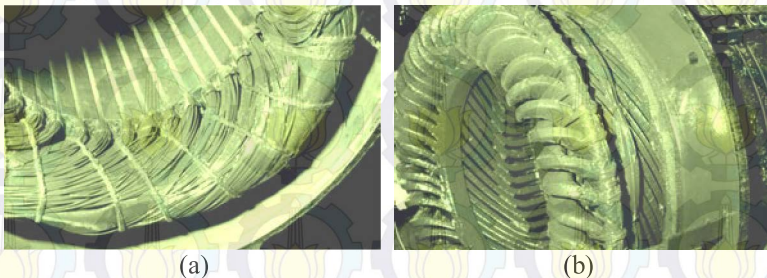
Pada tahun 1977, Electric Instrument Rules Committee dari Japanese Industrial Standards Committee membahas dan menyusun standar. Standar itu untuk memperjelas kelas isolasi dan suhu maksimum motor yang menghasilkan pembagian kelas sebagai berikut (JIS C 4003: *Electrical Insulation-Thermal Evaluation and Designation*):

1. Kelas-Y : Tahan hingga suhu 90°C; terbuat dari bahan berserat organik seperti katun, sutera alam, wol sintesis, rayon, serat poliamid, kertas, prespan, kayu, polikrilat, polietilen, polivinil, atau karet.
2. Kelas-A : Tahan suhu hingga 105°C; terbuat dari bahan kelas-Y yang dilapisi dengan pernis, aspal, atau minyak isolasi.
3. Kelas-E : Tahan hingga suhu 120°C; terbuat dari bahan polyvinyl formal, polyurethane dan damar epoksi, selulosa, pertinaks, tekstolit, triasetat, atau polietilen tereftalat.
4. Kelas-B : Tahan hingga suhu 130°C; terbuat dari bahan mika, fiber, asbes, bitumen, bakelit, polikarbonat polychlorotrifluoroethylene, polietilena tereftalat, atau sirlak.

5. Kelas-F : Tahan suhu hingga 155°C ; terbuat dari bahan kelas-B yang ditingkatkan dengan perekat, silikon, atau resin pernis dengan ketahanan termal yang lebih tinggi.
6. Kelas-H : Tahan suhu sampai 180°C ; terbuat dari bahan anorganik direkatkan dengan resin silikon tanpa campuran bahan berserat atau email plymaide murni.
7. Kelas-C : Tahan suhu lebih tinggi dari 180°C ; terbuat dari bahan anorganik seperti mika, mikanit tahan panas, mikaleaks, gelas, keramik, atau teflon (satunya dengan substansi organik).

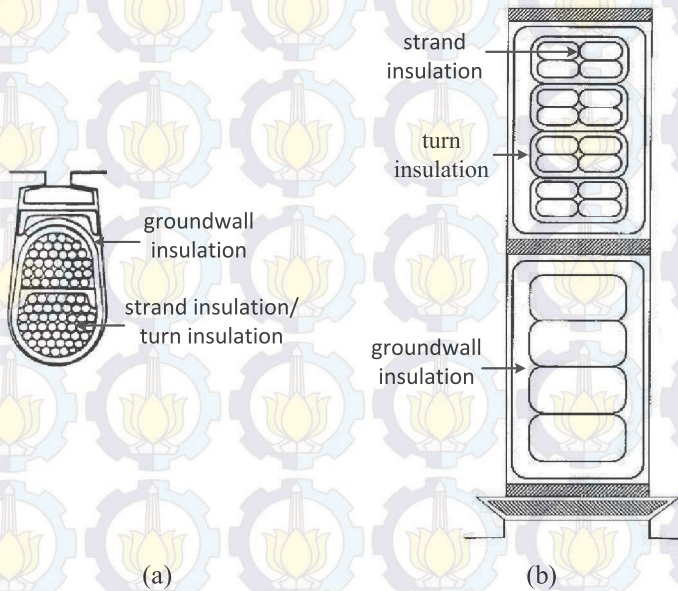
2.1.2. Sistem Isolasi Stator Motor

Konstruksi belitan stator pada motor dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan kapasitas dayanya, yaitu: *random-wound stators* untuk motor dengan kapasitas di bawah ratusan kW, dan *form-wound stators* untuk motor dengan kapasitas diantara 50MVA hingga 100MVA. Konstruksi *random-wound stators* tersusun dari konduktor tembaga terisolasi yang dililitkan secara kontinu melalui sela-sela pada inti stator untuk membentuk sebuah *coil*. Setiap lilitan dapat diletakkan secara acak terhadap lilitan lainnya dalam satu *coil*. Konstruksi *form-wound stators* tersusun dari lilitan terisolasi yang telah dibentuk sebelum dimasukkan pada sela-sela di inti stator. Konduktor tembaga pada *form-wound stators* tersusun dari konduktor-konduktor berukuran kecil (*strand*) yang terisolasi antara satu dengan lainnya[2].



Gambar 2.1 (a) Konstruksi *Random-Wound Stators* (b) Konstruksi *Form-Wound Stators*[2]

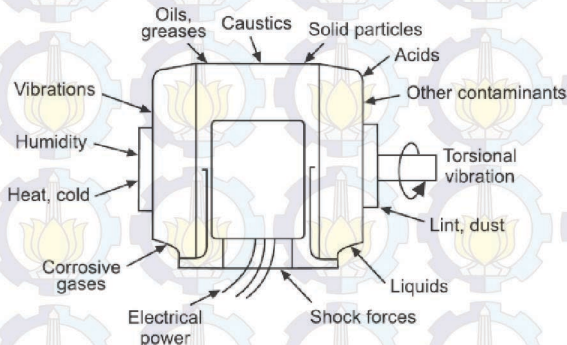
Isolasi stator motor memiliki tiga komponen dasar, yaitu: *strand insulation*, *turn insulation*, dan *groundwall insulation*. Ketiga komponen ini memiliki masing-masing fungsi untuk mencegah terjadinya *short circuit* pada motor. Pada motor jenis *random-wound stators*, *strand insulation* dapat berfungsi sebagai *turn insulation*, yaitu berfungsi untuk mencegah *short circuit* antar belitan. Pada motor *form-wound stators*, *turn insulation* mencegah *short circuit* antar belitan sedangkan *strand insulation* berfungsi untuk mencegah *short circuit* antar konduktor. Komponen lainnya yaitu *groundwall insulation* berfungsi untuk memisahkan konduktor tembaga terhadap inti stator. Dalam hal ini, *groundwall insulation* berfungsi untuk mencegah *short circuit* antara konduktor dengan *ground*[2].



Gambar 2.2 (a) Penampang *Random-Wound Stators Slot*
(b) Penampang *Form-Wound Stators Slot*[2]

2.2. Pengaruh Lingkungan Terhadap Isolasi

Percobaan akselerasi umur sering digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu isolasi terkait dengan umurnya yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Suatu gagasan dikenalkan oleh Mathes pada tahun 1948, untuk mengevaluasi bahan isolasi sesuai dengan kondisi lingkungan kerjanya, dimana satu atau dua faktor kondisi lingkungannya ditingkatkan. Gagasan ini tetap digunakan hingga sekarang[3]. Hal ini dilakukan karena tidak mungkin realistis menunggu, katakanlah 20 tahun untuk mengetahui apakah suatu isolasi telah memenuhi standar.



Gambar 2.3 Faktor yang Dapat Mempengaruhi Umur[6]

Faktor yang dapat mempengaruhi umur adalah *electric power*, *corrosive gases*, *heat*, *cold*, *humidity*, *vibrations*, *oils*, *greases*, *caustics*, *solid particles*, *acids*, *other contaminants*, *torsional vibrations*, *lint*, *dust*, *liquids*, dan *shock forces*. Faktor yang masuk ke dalam motor seperti cairan, zat korosif dan partikel padat dapat mengurangi umur isolasi motor[6].

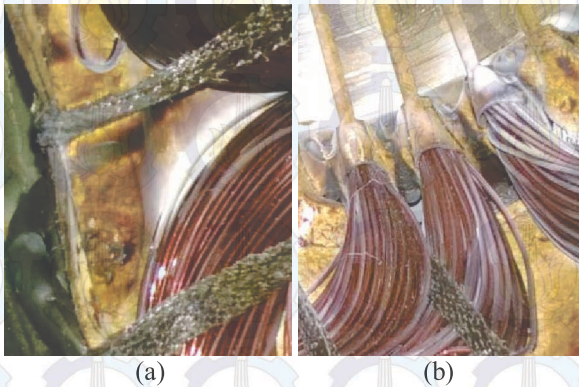
2.2.1. Pengaruh Kelembaban

Kelembaban dapat mempengaruhi tahanan isolasi. Tidak seperti efek temperatur pada tahanan isolasi, efek kelembaban lebih sulit diukur pengaruhnya pada isolasi motor. Namun kelembaban merupakan faktor yang tidak boleh diabaikan ketika mengevaluasi hasil tes sebuah isolai. Tidak seperti suhu, efek kelembaban bukanlah sebuah gradien konstan

dan selama suhu tetap di atas titik embun, kelembaban tidak berefek signifikan pada ketahanan isolasi[1].



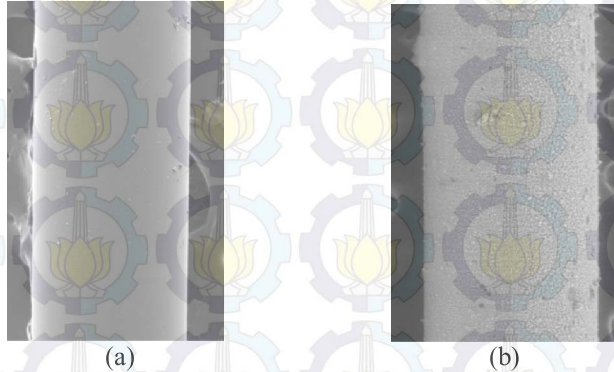
Gambar 2.4 (a) Kondisi Belitan Stator Setelah Dipengaruhi Kelembaban Tinggi (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan Isolasi Belitan Stator[4]



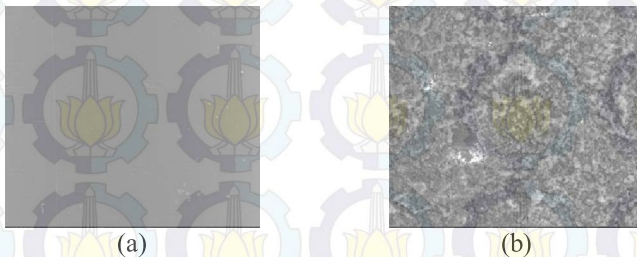
Gambar 2.5 (a) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti (b) Lapisan Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall* di *End-Winding*[4]

Kelembaban yang terjadi di bawah titik embun terbukti memiliki efek yang kuat terhadap kekuatan dielektrik isolasi. Kelembaban yang dijaga tinggi ($RH = 80\%$) selama beberapa hari mengakibatkan

masuknya uap air ke dalam isolasi. Adanya air pada isolasi membuat kekuatan dielektrik isolasi menurun drastis[7]. Efek dari kelembaban pada motor induksi menimbulkan lapisan berwarna putih yang terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



Gambar 2.6 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kelembaban[4]



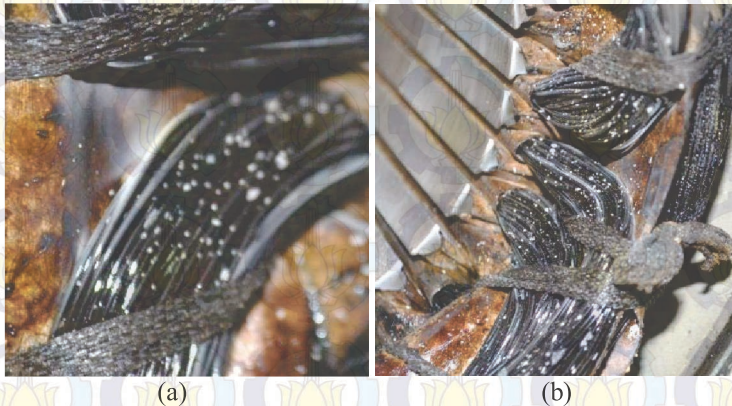
Gambar 2.7 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kelembaban[4]

Dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat diketahui perbandingan kondisi permukaan isolasi antara isolasi dalam

kondisi normal dengan keadaan isolasi yang dipengaruhi kelembaban yang terlihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.

2.2.2. Pengaruh Kontaminasi

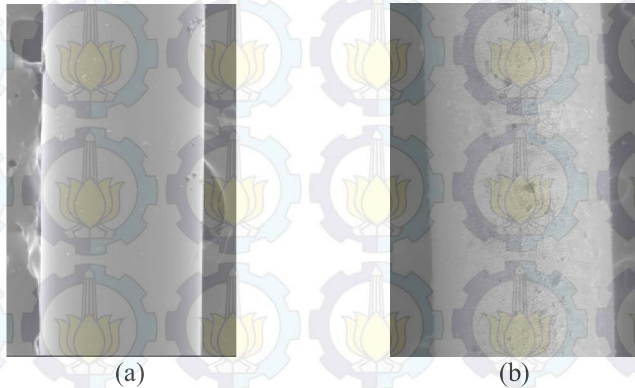
Kontaminasi berupa kabut garam dapat mempengaruhi kinerja motor induksi. Kontaminasi jenis ini dapat ditemukan di daerah laut dan pantai. Iklim laut dan pantai dikenal sebagai lingkungan korosif. Garam yang terkandung dalam tetesan kecil dari kabut air sangat terionisasi dan mampu menyebabkan korosi oksidatif, korosi retakan, dan korosi terutama pada logam galvanis. Tidak hanya bersifat korosif, kabut garam secara signifikan dapat mengurangi kekuatan dielektrik isolasi dan menyebabkan *short circuit*. Untuk menghindari efek dari kabut garam, rangkaian listrik dan perangkat logam pendukung harus dilindungi secara memadai. Perlindungan dirancang harus diverifikasi oleh melalui tes kabut garam/kontaminasi, dan kualitas pembuatan harus dijamin oleh kontrol proses untuk memberikan perlindungan yang efektif terhadap jenis kontaminan[8].



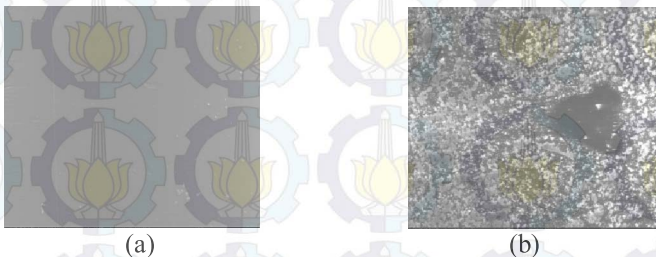
Gambar 2.8 (a) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti (b) Bercak Berwarna Putih pada Permukaan *Groundwall Insulation* di Sekitar *Slot* Inti di *End-Winding*[6]

Dalam menentukan hubungan antara kontaminasi dan kegagalan peralatan listrik, idealnya isolator suatu peralatan diberi paparan

kontaminasi alami. Namun hal ini akan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu metode buatan untuk mengganti kontaminasi alami dikembangkan. Salah satu metode ini adalah pengkabutan, dimana air yang mengandung garam dikabutkan pada area isolator[9]. Efek dari kontaminasi pada motor induksi menimbulkan bercak berwarna putih yang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 200x Dipengaruhi Kontaminasi[4]



Gambar 2.10 (a) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Kondisi Normal. (b) Perbedaan Permukaan Isolasi dengan Perbesaran 2000x Dipengaruhi Kontaminasi[4]

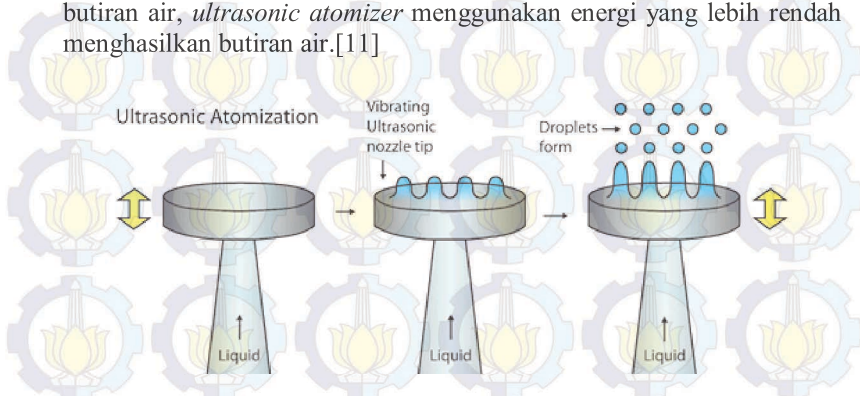
2.3. Atomisasi Cairan

Kelembaban udara di suatu ruangan dapat ditingkatkan dengan menambah uap air. Banyak macam proses untuk menghasilkan uap air, salah satunya dengan proses atomisasi cairan. Atomisasi cairan yaitu proses untuk membuat air menjadi butiran-butiran kecil sehingga dapat terlarut dalam udara. Untuk melakukan proses ini dibutuhkan alat. Banyak macam alat yang dapat digunakan untuk melakukan proses ini, yaitu[10]:

1. *Pressure atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memberi tekanan dan mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung kecil, sehingga air tertekan dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
2. *Rotary atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memutar air dengan kecepatan tinggi, sehingga air terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
3. *Air-assist atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung pertemuan antara air dengan udara bertekanan, sehingga air tertekan udara dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
4. *Airblast atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara memberi tekanan dan mengalirkan air melalui *nozzle* yang memiliki ujung kecil, ujungnya juga memiliki pertemuan antara air dengan udara bertekanan, sehingga air tertekan udara dan terpecah menjadi butiran-butiran kecil.
5. *Effervescent atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara mengalirkan air kedalam ruang kecil dengan udara bertekanan, sehingga air terpecah dan tercampur dengan udara menjadi butiran-butiran kecil.
6. *Ultrasonic atomizer*, proses atomisasi alat ini dilakukan dengan cara menggetarkan air dengan frekuensi tinggi, sehingga air terpecah menjadi butiran-butiran kecil.

Ultrasonic atomizer, *ultrasonic nebulizer*, *ultrasonic humidifier*, atau yang lebih dikenal dengan *mist maker* adalah alat atomisasi cairan menggunakan gelombang ultrasonik. Alat ini bekerja dengan cara memaksa lapisan tipis air untuk berosilasi hingga air menjadi butiran (*droplest*). Proses cara kerja alat ini ditunjukkan pada Gambar 2.11. Lapisan air digetarkan dengan kepingan piezoelektrik pada frekuensi

tinggi (antara 16kHz-2MHz). Berbeda dengan alat atomisasi konvensional yang mengandalkan energi mekanik untuk menghasilkan butiran air, *ultrasonic atomizer* menggunakan energi yang lebih rendah menghasilkan butiran air.[11]



Gambar 2.11 Cara Kerja *Ultrasonic Atomizer*[11]

2.4. Percobaan Akselerasi Umur

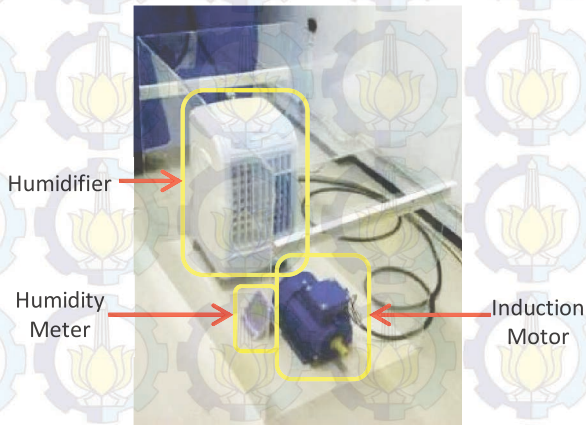
Percobaan akselerasi umur dipengaruhi kontaminasi dan kelembaban telah dilakukan sebelumnya di Teknik Elektro yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, menggunakan komponen sebagai berikut[5]:

1. Humidity Meter, merupakan sensor suhu sekaligus sensor kelembaban yang dapat digunakan untuk menyensor kelembaban dalam ruangan saat pengujian.
2. Humidifier, adalah sejenis alat elektronik yang berfungsi untuk meningkatkan kelembaban dalam suatu ruangan dengan cara menghembuskan udara melewati permukaan air.
3. Kotak berbahan akrilik dengan dimensi $50 \times 80 \times 75 \text{ cm}^3$, kotak dibuat dengan tujuan untuk membuat ruangan agar bisa meningkatkan kelembaban pada peralatan (motor).

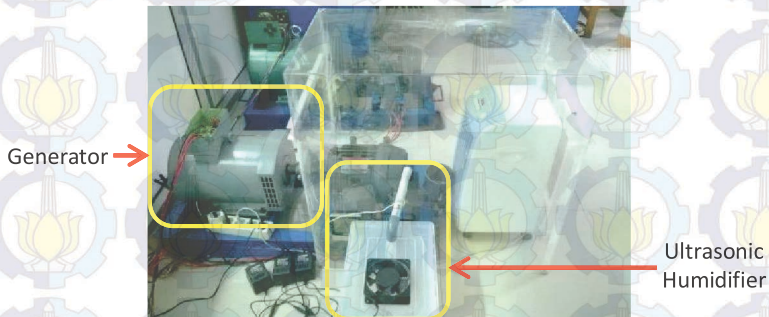
Lalu dilanjutkan dengan penambahan yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, dengan komponen sebagai berikut[4]:

1. Generator sinkron dengan kapasitas daya mencapai 3 kW. Generator tersebut dihubungkan dengan set lampu berdaya total sebesar 1800 kW. Generator dan set lampu ini digunakan sebagai beban motor yang bertujuan untuk meningkatkan temperatur belitan.

2. *Ultrasonic humidifier* tiga buah dengan kapasitas masing-masing 300ml dalam waktu 60 menit untuk meningkatkan kelembaban. *Ultrasonic humidifier* ini yang dimasukkan ke dalam wadah tertutup yang telah berisi air. Pada bagian atas wadah tersebut diberikan saluran pipa keluaran dan *fan*.



Gambar 2.12 Perangkat Percobaan yang Telah Dilakukan[5]



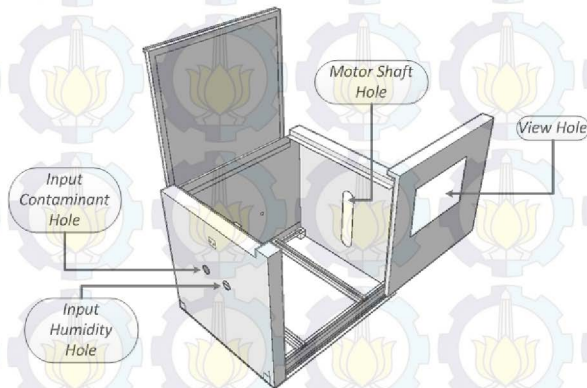
Gambar 2.13 Perangkat Percobaan Lanjutan yang Telah Dilakukan[4]

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini membahas mengenai perancangan dan pembuatan alat yang meliputi: perancangan dan pembuatan bagian mekanik; perancangan dan pembuatan bagian elektrik; dan pemrograman. Hal tersebut guna mewujudkan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”. Dalam pembahasan bab ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Perancangan dan pembuatan bagian mekanik meliputi perancangan *chamber* menggunakan *software* AutoCAD dan hasil jadi rancangan.
2. Perancangan dan pembuatan bagian elektrik meliputi diagram blok sistem dan komponen elektrik yang digunakan.
3. Perancangan dan Pembuatan program meliputi pembuatan program menggunakan *software* Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang menggunakan bahasa C/C++.



Gambar 3.1 Rancangan *Chamber*

3.1. Perancangan dan Pembuatan Bagian Mekanik

Untuk membuat gambaran rancangan digunakan *software* AutoCAD dan Visio. *Chamber* dari tugas akhir ini berdimensi 60cm x 50cm x 50cm. Dengan bahan plat besi yang dicat. Mempunyai pintu

depan geser dan pintu atas ungit untuk memudahkan memasukkan ataupun mengeluarkan peralatan yang akan diuji khususnya Motor Induksi. Pintu depan geser dilengkapi lubang pantau berupa kaca untuk memudahkan dalam memantau keadaan didalam *Chamber*. *Chamber* ini juga memiliki dua lubang *input* untuk masuknya kelembaban dan kontaminasi yang disalurkan melalui pipa *flexible* dari tangki. Rancangan dari *chamber* digambarkan pada Gambar 3.1.

3.1.1. Tangki Kelembaban dan Kontaminasi

Terdapat dua tangki yang digunakan, tangki pertama untuk menyimpan air yang digunakan sebagai sumber kelembaban dan tangki kedua untuk menyimpan larutan garam yang digunakan sebagai sumber kontaminasi. Tangki memiliki kapasitas 10 liter yang dilengkapi dengan *blower* untuk memindahkan kelembaban dan atau kontaminasi dari tangki ke dalam *chamber*.

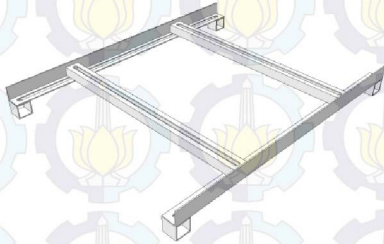


Gambar 3.2 Tangki Kelembaban dan Kontaminasi

3.1.2. Dudukan Motor

Desain perangkat percobaan akselerasi umur ini dimungkinkan untuk menguji bermacam jenis motor induksi. Motor induksi memiliki banyak bentuk sesuai spesifikasinya. Hal ini menyebabkan letak lubang baut untuk menahan *body* motor agar tidak bergerak berbeda untuk

masing-masing motor induksi sesuai spesifikasinya. Untuk itu diperlukan dudukan yang dapat diubah sesuai letak lubang baut penahan motor. Rancangan dari dudukan motor digambarkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rancangan Dudukan Motor

3.1.3. Perwujudan Bagian Mekanik

Perwujudan bagian mekanik ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bagian Mekanik Perangkat Percobaan Akselerasi Umur

3.2. Perancangan dan Pembuatan Bagian Elektrik

Kontroler yang digunakan pada *chamber* akselerasi umur ini adalah mikrokontroler Arduino Mega. Komponen yang terhubung dengan *pin* Arduino Mega terdiri dari: *ultrasonic nebulizer* untuk

kelembaban, *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi, sensor *humidity* (kelembaban), sensor *salinity* (kontaminasi), dan LCD.

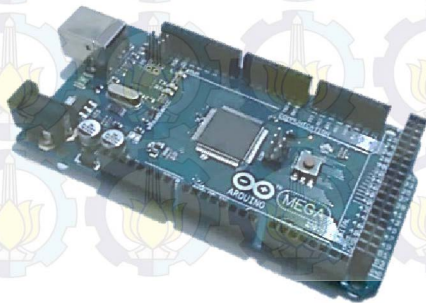
Sensor *humidity* berfungsi untuk mendeteksi kelembaban dalam *chamber*. Sensor *salinity* berfungsi untuk mendeteksi kontaminasi dalam *chamber*. Kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* diatur sesuai yang diinginkan melalui LCD. Ketika kelembaban di dalam *chamber* di bawah *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kelembaban bekerja. Sebaliknya ketika kelembaban di dalam *chamber* di atas *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kelembaban tidak bekerja. Ketika kontaminasi di dalam *chamber* di bawah *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi bekerja. Sebaliknya ketika kontaminasi di dalam *chamber* di atas *setting*, maka *ultrasonic nebulizer* untuk kontaminasi tidak bekerja.



Gambar 3.5 Diagram Blok Sistem

3.2.1. Arduino Mega

Kontroler yang digunakan adalah Arduino Mega. Arduino Mega adalah mikrokontroler berbasis ATmega2560. Kontroler ini memiliki 54 *pin* digital *input/output* dan 16 *pin* analog *input*. *Software* yang digunakan untuk memprogram kontroler ini adalah Arduino IDE.



Gambar 3.6 Arduino Mega

3.2.2. Ultrasonic Nebulizer

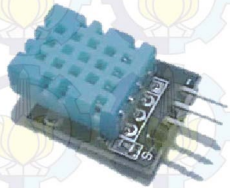
Untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminasi di dalam *chamber* digunakan *ultrasonic nebulizer*. Alat ini berfungsi untuk menguapkan air dengan cara menggetarkannya pada frekuensi ultrasonik. Satu *ultrasonic nebulizer* yang digunakan memiliki kemampuan menguapkan air sebanyak 250 ml dalam satu jam. Masing-masing untuk menimbulkan kelembaban dan kontaminasi digunakan 5 *ultrasonic nebulizer*, sehingga kemampuannya menjadi 1250 ml dalam satu jam. Untuk mengatur kelembaban dan kontaminasi yang ditimbulkan alat ini, Arduino Mega mengirimkan sinyal *on-off* pada alat ini sesuai dengan kondisi kelembaban dan kontaminasi yang terukur dan diinginkan dalam *chamber*. *Power supply* untuk alat ini terhubung dengan *pin* A10 untuk *ultrasonic nebulizer* kelembaban dan *pin* A11 untuk *ultrasonic nebulizer* kontaminasi.



Gambar 3.7 *Ultrasonic Nebulizer*

3.2.3. Sensor Kelembaban dan Suhu DHT11

Untuk mengukur kelembaban di dalam *chamber* digunakan sensor DHT11. Selain dapat mengukur kelembaban sensor ini dapat mengukur suhu.



Gambar 3.8 Sensor DHT11

Suhu dari sensor ini dapat digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data digital. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* 50 Arduino Mega.

3.2.4. Sensor Kontaminasi

Untuk mengukur kontaminasi di dalam *chamber* digunakan sensor dengan prinsip konduktivitas. Memiliki dua buah elektroda lithium. Sensor ini bekerja dengan cara mengukur tegangan yang dialirkan dari satu konduktor ke konduktor lain melalui garam yang terlarut dalam fluida cair dan atau gas. Semakin banyak garam yang terlarut tegangan yang terukur semakin tinggi. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* A9 Arduino Mega.



Gambar 3.9 Sensor Kontaminasi

3.2.5. Sensor Suhu LM35

Untuk mengukur suhu pada belitan motor induksi digunakan sensor LM35. Suhu dari sensor ini digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin* A8 Arduino Mega.



Gambar 3.10 Sensor LM35

3.2.6. Sensor Suhu DS18B20

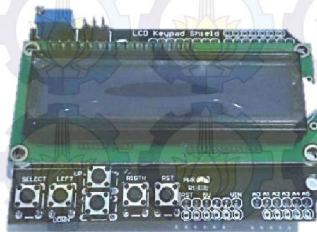
Untuk pilihan lain mengukur suhu pada belitan motor induksi digunakan sensor DS18B20. Suhu dari sensor ini digunakan sebagai tambahan data dalam percobaan akselerasi umur. *Output* dari sensor ini berupa data analog. *Output pin* sensor ini terhubung dengan *pin 52* Arduino Mega.



Gambar 3.11 Sensor DS18B20

3.2.7. LCD dan Keypad

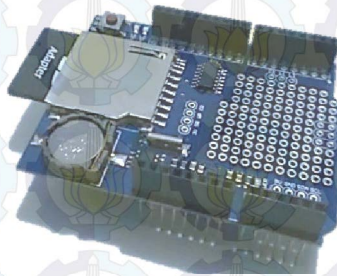
Untuk menampilkan kelembaban, kontaminasi dan suhu yang terukur digunakan LCD dan *Keypad* sebagai medianya. Selain itu melalui LCD dan *Keypad* ini kelembaban dan kontaminasi yang diinginkan dapat ditentukan.



Gambar 3.12 LCD dan Keypad

3.2.8. Data Logger

Untuk menyimpan data waktu, kelembaban, kontaminasi, dan suhu selama masa percobaan digunakan *data logger*. Alat ini menyimpan data yang diukur secara *real time*. Data yang disimpan dapat diubah ke dalam bentuk grafik melalui Excel dan dapat digunakan sebagai data percobaan. Media penyimpanan data yang digunakan adalah *SD Card*.



Gambar 3.13 Data Logger

3.2.9. Perwujudan Bagian Elektrik

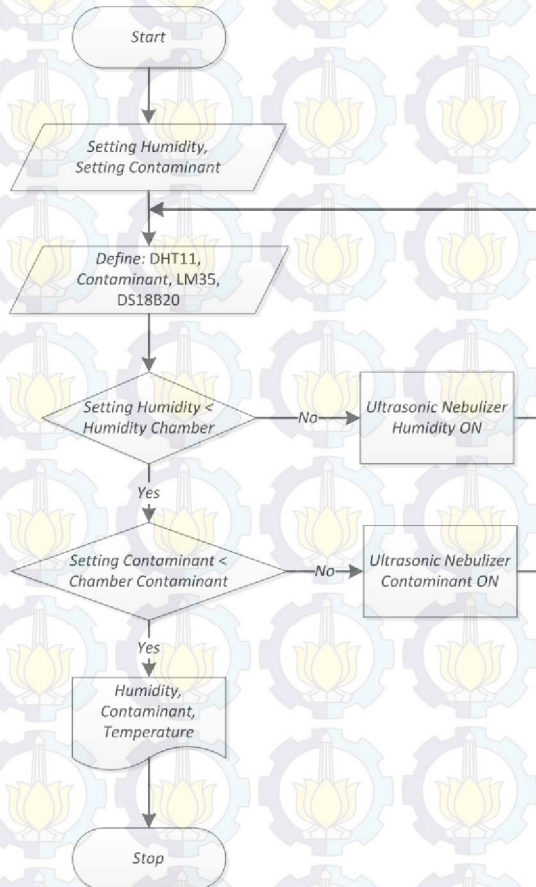
Perwujudan bagian elektrik ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Bagian Elektrik
Perangkat Percobaan Akselerasi
Umur

3.3. Perancangan dan Pembuatan Program

Untuk memprogram kontroler Arduino Mega digunakan *software* Arduino IDE. Perancangan program berupa penyusunan algoritma. Algoritma disusun dalam bentuk *flowchart*.



Gambar 3.15 *Flowchart* Program Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol

3.3.1. Alogaritma Program

Pada Gambar 3.15, tahap *define* berfungsi untuk mendefinisikan *pin* yang digunakan sebagai input sensor sehingga kontroler Arduino Mega dapat mengenali sensor DHT 11, kontaminasi, LM35, dan DS18B20. *Setting input* digunakan untuk mengatur kelembaban dan kontaminasi yang diinginkan. Hasil dari pembacaan sensor dibandingkan dengan *setting*. Jika tidak sama maka terdapat dua kondisi yang terjadi. Saat hasil pembacaan sensor kurang dari *setting*, maka kontroler akan mengirim sinyal *on* untuk menyalakan *ultrasonic nebulizer* jika kondisi awal dalam keadaan tidak aktif. Sebaliknya saat hasil pembacaan sensor lebih dari *setting*, maka kontroler akan mengirim sinyal *off* untuk menonaktifkan *ultrasonic nebulizer*. *Setting* ini hanya digunakan untuk memberi batas minimal.

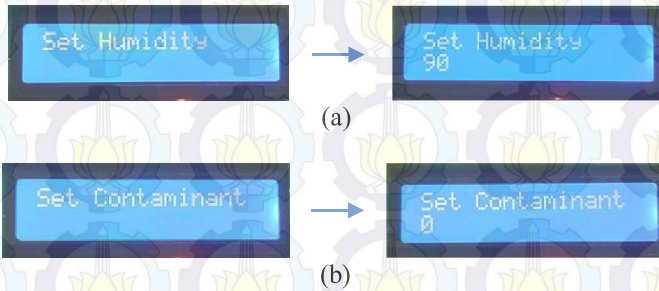


Gambar 3.16 Tampilan Utama LCD

3.3.2. Tampilan Menu LCD

Dalam memudahkan pemantauan dan pengaturan dibuat beberapa tampilan LCD sesuai dengan fungsinya. Beberapa tampilan tersebut antara lain, tampilan utama, tampilan menu *setting* waktu, tampilan menu *setting* kelembaban, dan tampilan menu *setting* kontaminasi. Tampilan menu utama mempunyai fungsi memberikan informasi tentang waktu, kadar kelembaban dalam *chamber*, kadar kontaminasi dalam *chamber*, suhu dalam *chamber*, suhu motor dengan sensor DS18B20 (Motor 1), dan suhu motor dengan sensor LM35 (Motor 2). Tampilan ini bergantian dengan jeda 2 detik yang masing-masing tampilannya ditunjukkan pada Gambar 3.16. Tampilan menu *setting* kelembaban dan kontaminasi ditunjukkan pada Gambar 3.17. Tampilan menu *setting* waktu terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama *setting*

bulan, kedua *setting* hari, ketiga *setting* tahun, keempat *setting* menit, kelima *setting* jam, keenam *setting* AM/PM. Tampilan ini ditunjukkan pada Gambar 3.18.



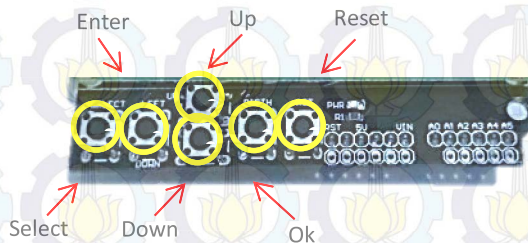
Gambar 3.17 (a) Tampilan Menu *Setting* Kelembaban
(b) Tampilan menu *Setting* Kontaminasi



Gambar 3.18 Tampilan Menu *Setting* Waktu

3.3.3. Fungsi Tombol

Untuk *setting* diperlukan inputan, inputan ini terdiri dari beberapa tombol yang mempunyai fungsinya masing-masing. Tombol tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.19. Tombol *select* mempunyai fungsi untuk masuk ke tampilan menu dari tampilan utama. Selain itu tombol ini digunakan untuk memilih tampilan menu yang diinginkan. Tombol *enter* berfungsi untuk memilih *setting* yang diinginkan. Tombol *up* untuk menambah besaran *setting*. Tombol *down* untuk mengurangi besaran *setting*. Tombol *ok* untuk mengunci besaran yang telah di-*setting*. Tombol *reset* berfungsi untuk mengembalikan *setting* ke keadaan semula.



Gambar 3.19 Tombol Input

3.4. Perwujudan Alat dan Skema Pengujian

Terdapat dua pengujian yang akan dilakukan. Pengujian pertama untuk mengetahui kinerja alat dalam mengontrol kelembaban dan kontaminasi. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi yang ditunjukkan Tabel 3.1.

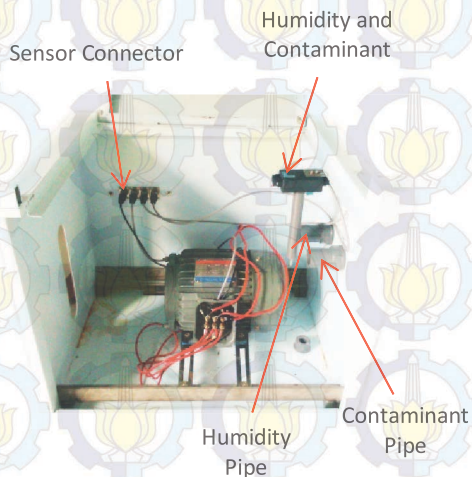
Tabel 3.1 Skema Pengujian Kontrol

Case	Setting (%)		Time (minute)
Humidity Control	80		20
	85		20
	90		20
Contaminant Control	20		20
	30		20
	40		20
Humidity ⁽¹⁾ and Contaminant ⁽²⁾ Control	90 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾	30
	95 ⁽¹⁾	20 ⁽²⁾	30
	100 ⁽¹⁾	10 ⁽²⁾	30

Perwujudan alat yang akan diuji ditunjukkan oleh Gambar 3.20 dan Gambar 3.21. Dalam pengujian yang dilakukan, dalam *chamber* diletakkan motor induksi yang sedang bekerja.

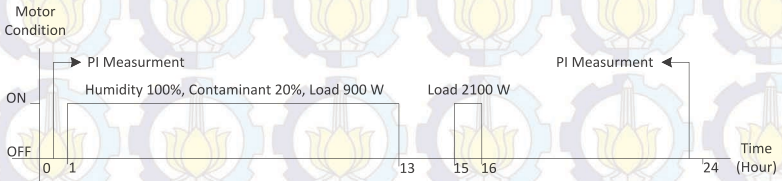


Gambar 3.20 Perwujudan Keseluruhan Alat



Gambar 3.21 Kondisi dalam Chamber

Pengujian kedua untuk mengetahui kinerja alat dalam memberikan efek penuaan pada isolasi motor induksi. Dengan skema pengujian dalam 24 jam yang terlihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.21 Skema Pengujian Penuaan

Pengujian ini dilakukan selama 3x24 jam. Dengan objek pengujian motor induksi 1,5kW yang terlihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Motor Induksi 1,5kW

BAB IV

VALIDASI DAN PENGUJIAN ALAT

Bab ini membahas mengenai validasi dan pengujian alat. Hal tersebut guna mewujudkan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi”. Validasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan pembacaan tiap sensor pada alat Tugas Akhir ini. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan tiap sensor pada alat Tugas Akhir dengan alat pembaca kelembaban dan suhu komersial dengan merk EXTECH.

4.1. Validasi Sensor Kelembaban DHT11

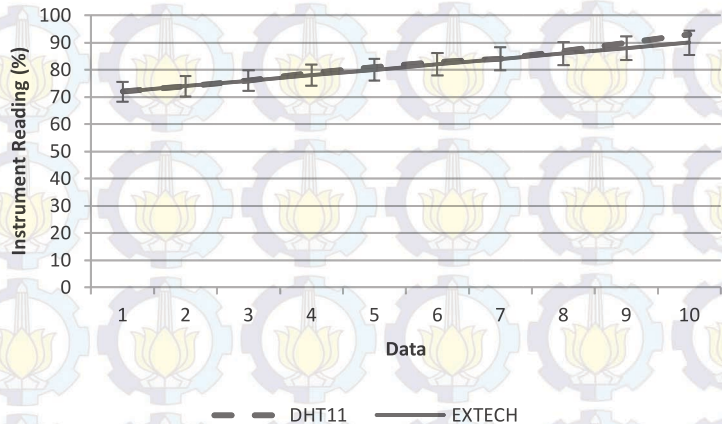
Validasi sensor kelembaban DHT11 dilakukan di ruang tertutup. Sensor kelembaban DHT11 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Kelembaban awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikkan kelembaban digunakan *ultrasonic nebulizer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan kelembaban yang berbeda.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Sensor Kelembaban DHT11

DHT11 (% RH)	EXTECH (% RH)	Error (%)
72	72	0,00
74	74	0,00
76	76	0,00
79	78	1,28
81	80	1,25
83	82	1,22
84	84	0,00
87	86	1,16
90	88	2,27
93	90	3,33
<i>Avarage Error</i>		1,05

Hasil pembacaan sensor kelembaban DHT11 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat. Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor kelembaban DHT11 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang

ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat kelembaban 90% yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 3,33% yang terhitung masih di bawah toleransi *error*. Dari Gambar 4.1 terlihat hasil validasi dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data, *error* rata-ratanya sebesar 1,05%.



Gambar 4.1 Grafik Toleransi *Error* Sensor Kelembaban DHT11

4.2. Validasi Sensor Suhu DHT11

Validasi sensor suhu DHT11 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu DHT11 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi suhu ruangan, lalu untuk menaikkan suhu digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu DHT11 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

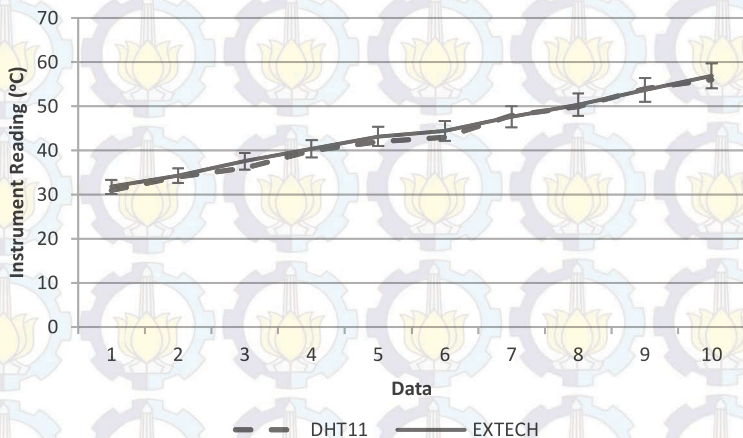
Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11

DHT11 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
31,00	31,80	2,52
34,00	34,30	0,87
36,00	37,60	4,26
40,00	40,40	0,99

Tabel 4.2 Hasil Validasi Sensor Suhu DHT11

DHT11 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
42,00	43,20	2,78
43,00	44,50	3,37
48,00	47,60	0,84
50,00	50,40	0,79
54,00	53,70	0,56
56,00	56,90	1,58
<i>Avarage Error</i>		1,86

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu DHT11 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat suhu 37,6°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 4,26% yang terhitung mendekati toleransi *error* namun masih di bawahnya. Dari Gambar 4.2 terlihat hasil validasi dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data *error* rata-ratanya sebesar 1,86%.



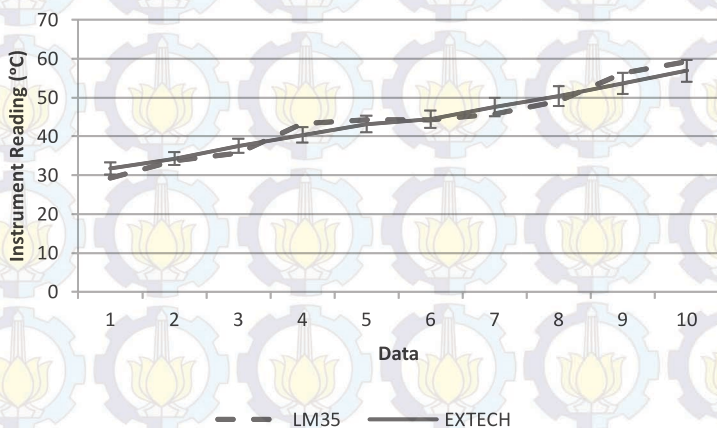
Gambar 4.2 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu DHT11

4.3. Validasi Sensor Suhu LM35

Validasi sensor suhu LM35 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu LM35 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikkan kelembaban digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu LM35 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

Tabel 4.3 Hasil Validasi Sensor Suhu LM35

LM35 (°C)	EXTECH (°C)	Error (%)
29,25	31,80	8,02
33,76	34,30	1,57
35,74	37,60	4,95
43,23	40,40	7,00
44,23	43,20	2,38
44,25	44,50	0,56
45,74	47,60	3,91
48,98	50,40	2,82
56,25	53,70	4,75
59,25	56,90	4,13
<i>Average Error</i>		4,01



Gambar 4.3 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu LM35

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu LM35 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat suhu 31,8°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 8,02% yang terhitung berada di atas toleransi *error*. Namun dari kesepuluh data *error* rata-ratanya sebesar 4,01% yang terhitung mendekati toleransi *error* namun masih di bawahnya. Dari Gambar 4.3 terlihat hasil validasi dari sensor suhu LM35 terhadap toleransi *error*.

4.4. Validasi Sensor Suhu DS18B20

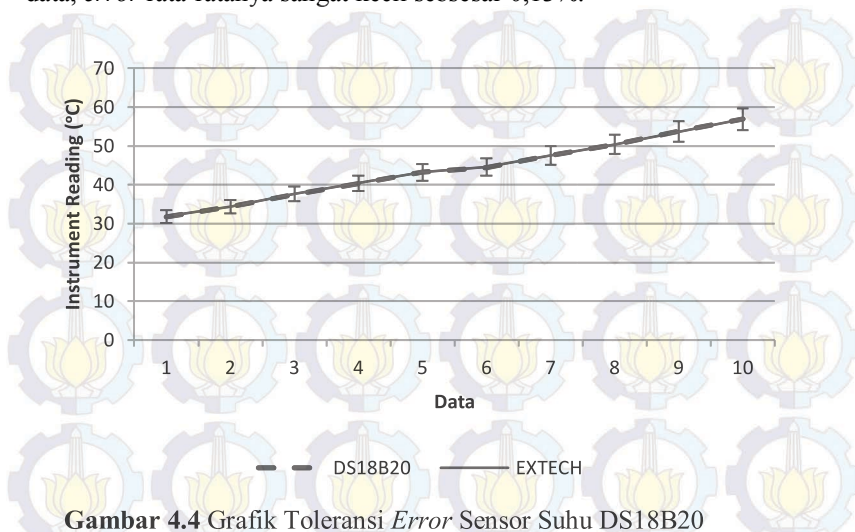
Validasi sensor suhu DS18B20 dilakukan di ruang tertutup. Sensor suhu DS18B20 diletakkan bersebelahan dengan EXTECH. Suhu awal sesuai dengan kondisi kelembaban ruangan, lalu untuk menaikan kelembaban digunakan *hairdryer*. Pengambilan data dilakukan sepuluh kali dengan suhu yang berbeda. Hasil pembacaan sensor suhu DS18B20 dibandingkan dengan EXTECH kemudian dicatat.

Tabel 4.4 Hasil Validasi Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 (°C)	EXTECH (°C)	<i>Error</i> (%)
31,68	31,80	0,38
34,33	34,30	0,09
37,56	37,60	0,11
40,33	40,40	0,17
43,25	43,20	0,12
44,49	44,50	0,02
47,50	47,60	0,21
50,37	50,40	0,06
53,76	53,70	0,11
56,88	56,90	0,04
<i>Avarage Error</i>		0,13

Dari hasil perbandingan, dihitung *error* hasil pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan acuan EXTECH. Ditentukan toleransi *error* sebesar 5%. Didapatkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Dari hasil tersebut *error* terbesar terjadi saat 31,8°C yang terukur oleh EXTECH. *Error* tersebut sebesar 0,38% yang terhitung masih berada jauh di bawah toleransi *error*. Dari Gambar 4.4 terlihat hasil validasi

dari kesepuluh data berada di dalam area toleransi *error*. Dari kesepuluh data, *error* rata-ratanya sangat kecil sebesar 0,13%.



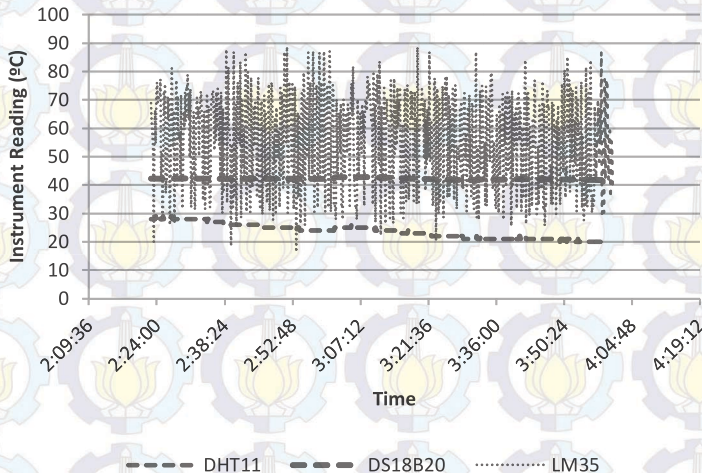
Gambar 4.4 Grafik Toleransi *Error* Sensor Suhu DS18B20

4.5. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu DHT11, LM35, dan DS18B20 dilakukan bersamaan dengan pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi. Hasil pengukuran suhu dari semua sensor suhu disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*. Data yang dihasilkan dalam format txt. Untuk membuat grafik dari data dilakukan menggunakan Excel dengan memanfaatkan data dengan format txt tersebut.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.5. Dari grafik tersebut terlihat suhu yang terukur oleh masing-masing sensor. Sensor DHT11 mengukur suhu di dalam *chamber* sedangkan sensor LM35 dan DS18B20 mengukur suhu dalam motor. Hasil pengukuran sensor DHT11 menunjukkan hasil pembacaan yang stabil. Penurunan suhu yang terjadi sesuai dengan hasil pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi. Hasil pengujian kontrol kelembaban dan kontaminasi menunjukkan peningkatan kelembaban yang mempengaruhi turunnya suhu. Hasil pengukuran sensor LM35 menunjukkan hasil pembacaan yang fluktuatif. Hal ini terjadi karena sensor ini terpengaruhi induksi pada motor. Sensor ini diletakkan dalam motor dan menempel pada belitan stator. Dari grafik yang dihasilkan

sensor ini tidak dapat digunakan untuk melakukan percobaan akselerasi umur. Hasil pengukuran sensor DS18B20 menunjukkan hasil pembacaan yang stabil. Hal ini sesuai dengan suhu kerja motor sebesar kurang lebih 40°C.



Gambar 4.5 Pengujian Sensor Suhu

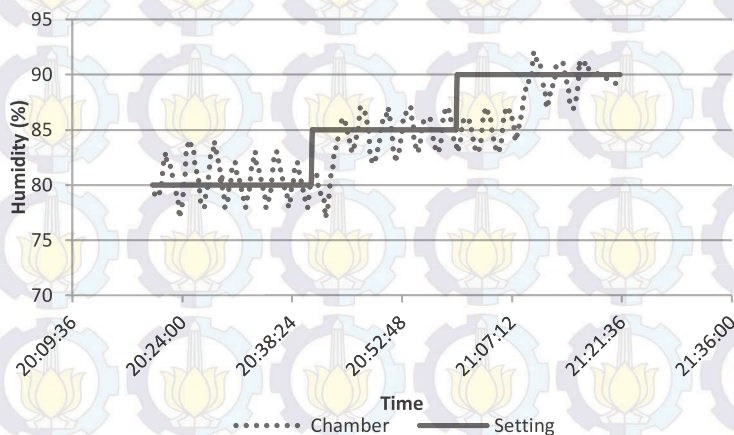
4.6. Pengujian Kontrol Kelembaban

Pengujian kontrol kelembaban dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan hanya mengatur kelembabannya saja. Kelembaban di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 80%, besaran kedua sebesar 85%, dan besaran ketiga sebesar 90%. Masing- masing *setting* dijalankan selama 20 menit. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kelembaban saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kelembaban DHT11 yang telah di validasi. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.6. Dari grafik tersebut terlihat kelembaban yang terukur dalam

chamber fluktuatif namun mengikuti *setting*. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kelembaban dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kelembaban. Perubahan kelembaban yang terjadi dalam hal ini pun cukup cepat.



Gambar 4.6 Pengujian Kontrol Kelembaban

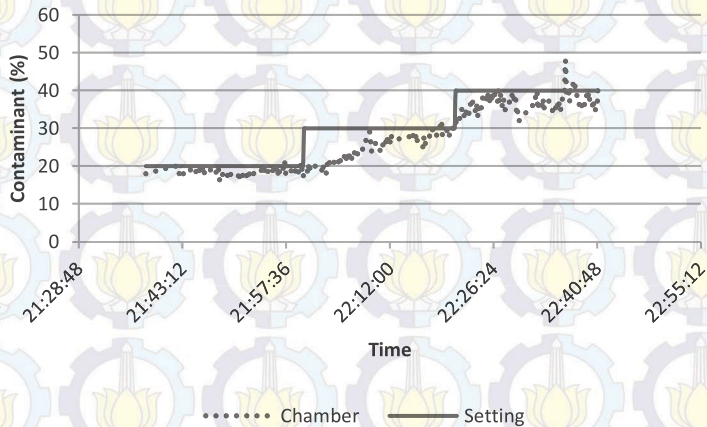
4.7. Pengujian Kontrol Kontaminasi

Pengujian kontrol kontaminasi dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan hanya mengatur kontaminasinya saja. Kontaminasi di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 20%, besaran kedua sebesar 30%, dan besaran ketiga sebesar 40%. Masing-masing *setting* dijalankan selama 20 menit. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kontaminasi saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kontaminasi. Sensor ini tidak dapat divalidasi karena ketidaktersediaan alat komersial. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui *data logger*.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.7. Dari grafik tersebut terlihat kontaminasi yang terukur dalam *chamber* mengikuti *setting* meskipun sedikit lambat dan sering di bawah

setting. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kontaminasi dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kontaminasi.



Gambar 4.7 Pengujian Kontrol Kontaminasi

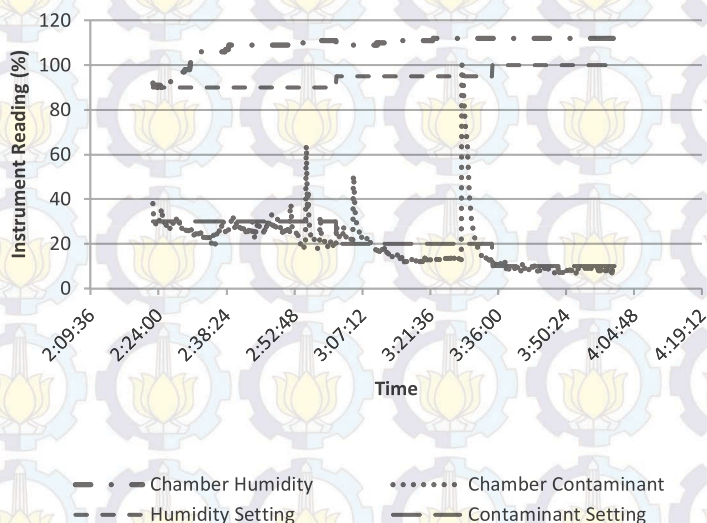
4.8. Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi

Pengujian kontrol kontaminasi dan kontaminasi dilakukan dengan cara menjalankan alat *accelerating aging*. Alat ini dijalankan dengan mengatur kelembaban dan kontaminasi bersama-sama. Kelembaban di *setting* dengan tiga besaran berbeda. Besaran pertama sebesar 90%, besaran kedua sebesar 95%, dan besaran ketiga sebesar 100%. Kontaminasi di *setting* dengan tiga besaran berbeda juga. Besaran pertama sebesar 30%, besaran kedua sebesar 20%, dan besaran ketiga sebesar 10%. Saat menjalankan alat *accelerating aging* terdapat sebuah motor induksi yang bekerja di dalam *chamber*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat ini dalam mengatur kontaminasi saat uji *accelerating aging* dilakukan.

Kelembaban dalam *chamber* diukur dengan sensor kelembaban DHT11 dan kontaminasi diukur dengan sensor kontaminasi. Hasil pengukuran disimpan secara *real time* ke dalam SD card melalui data logger.

Data yang dihasilkan dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 4.8. Dari grafik tersebut terlihat kontaminasi yang terukur dalam

chamber mengikuti *setting* meskipun sedikit lambat dan sering berada di bawah *setting*. Hal ini terjadi karena keterbatasan respons sensor terhadap perubahan kontaminasi dan juga respon *ultrasonic nebulizer* dalam memberi kontaminasi. Terlihat sempat terjadi lonjakan jumlah kontaminasi yang terukur. Hal ini dapat terjadi karena garam yang tidak terlarut dengan baik. Sehingga saat larutan garam dengan konsentrasi tinggi mengenai sensor garam terjadi lonjakan pengukuran. Dari grafik tersebut juga terlihat keadaan kelembaban yang tidak mengikuti *setting*. Hal ini terjadi karena untuk menguapkan garam digunakan air sebagai pelarutnya. Saat kontaminasi di bawah *setting*, *ultrasonic nebulizer* yang menguapkan garam bekerja. Hal ini secara tidak langsung juga menaikkan kelembaban di dalam *chamber*. Data yang dihasilkan juga menunjukkan supersaturasi pada kelembaban. Hal ini dapat terjadi karena uap air yang diberikan terus-menerus. Uap air yang sebelumnya berwujud gas menjadi cair namun tetap melayang di udara. Kondisi uap air yang menjadi cair namun tetap melayang di udara disebut kondisi supersaturasi.



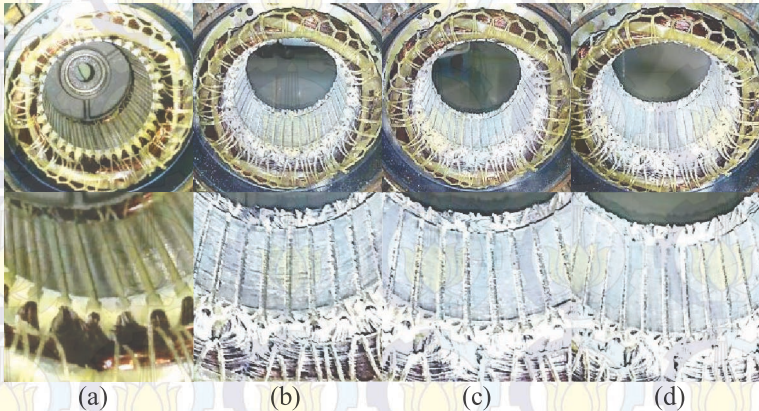
Gambar 4.8 Pengujian Kontrol Kelembaban dan Kontaminasi

4.9. Pengujian Akselerasi Umur

Pengujian akselerasi umur dilakukan selama 3 kali dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. 1 jam pengukuran
2. 12 jam motor ON dengan *setting* kelembaban *chamber* 100%, kontaminasi 20%, beban 900 W
3. 2 jam motor OFF
4. 1 jam motor ON dengan beban 2100 W (*overload* → *output* motor 1500W) → menghilangkan kelembaban dan memberi *stress*
5. 7 jam motor OFF → pendinginan
6. 1 jam pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan MEGGER MIT400 untuk melihat nilai *Insulation Resistance* (IR) pada menit pertama dan kesepuluh. IR menit kesepuluh dan pertama dibandingkan untuk mengetahui nilai *Polarization Index* PI. Pengukuran dilakukan pada tiap belitan motor induksi.



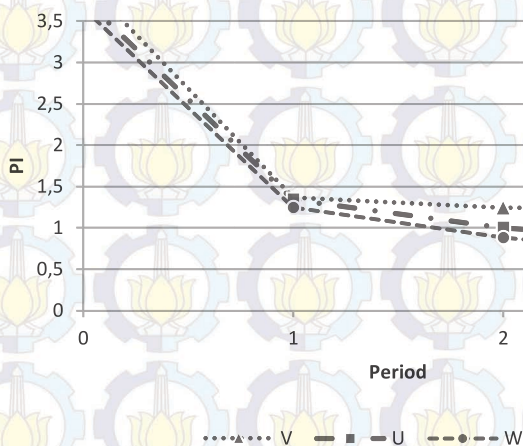
Gambar 4.9 (a) Kondisi Awal (b) Kondisi Pengujian Pertama (c) Kondisi Pengujian Kedua (d) Kondisi Pengujian Ketiga

Dari pengujian yang didapat alat ini telah mampu memberikan efek penuaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 yang menggambarkan keadaan belitan di stator. Belitan ini telah terkontaminasi garam dan jika dicermati terjadi penambahan garam di tiap pengujiannya.

Dari data pada Tabel 4.5 hasil pengukuran juga didapatkan data yang menunjukkan penurunan PI di tiap pengujiannya yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Hal ini mengindikasikan telah terjadi efek penuaan pada motor induksi.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran IR dan PI

	Turn	IR 1minute (M Ω)	IR 10minute (M Ω)	PI
Initial Condition	V	2140,00	9500,00	>4,00
	U	2640,00	>10000,00	>3,78
	W	2730,00	>10000,00	>3,66
First Test Condition	V	446,00	611,00	1,37
	U	350,00	470,00	1,34
	W	690,00	860,00	1,25
Second Test Condition	V	242,00	222,00	0,92
	U	47,90	47,90	1,00
	W	212,00	187,00	0,88
Third Test Condition	V	170,00	109,00	0,64
	U	42,50	35,40	0,83
	W	197,00	129,00	0,65



Gambar 4.10 Penurunan PI di Tiap Pengujian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chalmers, B. J., *“Electric Motor Handbook”*, Butterworths, 1988.
- [2] Stone, Greg C., Edward A. Boulter, Ian Culbert and H. Dhirani, *“Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing and Repair”*, IEEE Press Series on Power Engineering, 2004.
- [3] Rizk, A.M. Farouk., Giao N. Trinh, *“High Voltage Engineering”*, CRC Press, Taylor & Francis, 2014.
- [4] Wahyudi, Mochammad, *“Analisis Akselerasi Umur Isolasi Motor Induksi Karena Pengaruh Kelembaban dan Kontaminasi Berdasarkan Pengukuran PI (Polarization Index)”*, ITS, 2015.
- [5] Novianti, Siti Sudatul Aisyah, *“Pengujian dan Simulasi Sistem Isolasi Motor pada Beberapa Kondisi Lingkungan di Laboratorium”*, ITS, 2014.
- [6] M.V.Deshpande, *“Electric Motor: Application & Control”*, .A.H Wheeler and Co.Ltd, 1990.
- [7] Soltani, Reza., Eric David, Laurent Lammarré, *“The Impact of Humidity on Partial Discharge Activity of Large Rotating Machines”*, Conference Record of the 2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (ISEI), pp. 1-6, 2010.
- [8] Tautscher, *“Contamination Effects on Electronics Products”*, CRC Press, Taylor & Francis, 1991.
- [9] Yamamoto, Mitsuyoshi., Kenzo Ohashi, *“Salt Contamination of External Insulation of High-Voltage Apparatus and Its Countermeasures”*, Power Apparatus and Systems, Part III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, pp. 380-387, 1961.
- [10] Lefebvre, Arthur H., *“Atomization and Sprays”* CRC Press, Taylor & Francis, 1989.
- [11] Gallego-Juárez, Juan A, Karl F Graff, *“Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound”*, Elsevier, 2014.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perancangan, pembuatan, validasi dan pengujian alat Tugas Akhir yang berjudul “Desain Perangkat Percobaan Akselerasi Umur dengan Kelembaban dan Kontaminasi Terkontrol untuk Motor Induksi” dapat ditarik beberapa kesimpulan.

Alat Tugas Akhir ini telah mampu bekerja sesuai dengan tujuan dan batasan yang ditentukan. Saat kelembaban dan atau kontaminasi berada di bawah *setting* alat ini mampu mengkondisikan kelembaban dan atau kontaminasi mengikuti *setting* meskipun respons alat terlambat. Saat kontaminasi ditingkatkan kadarnya dalam *chamber*, kelembaban ikut bertambah. Supersaturasi dapat terjadi pada alat Tugas Akhir ini. Alat ini juga telah mampu memberikan efek penuaan

5.2. Keberlanjutan Penelitian

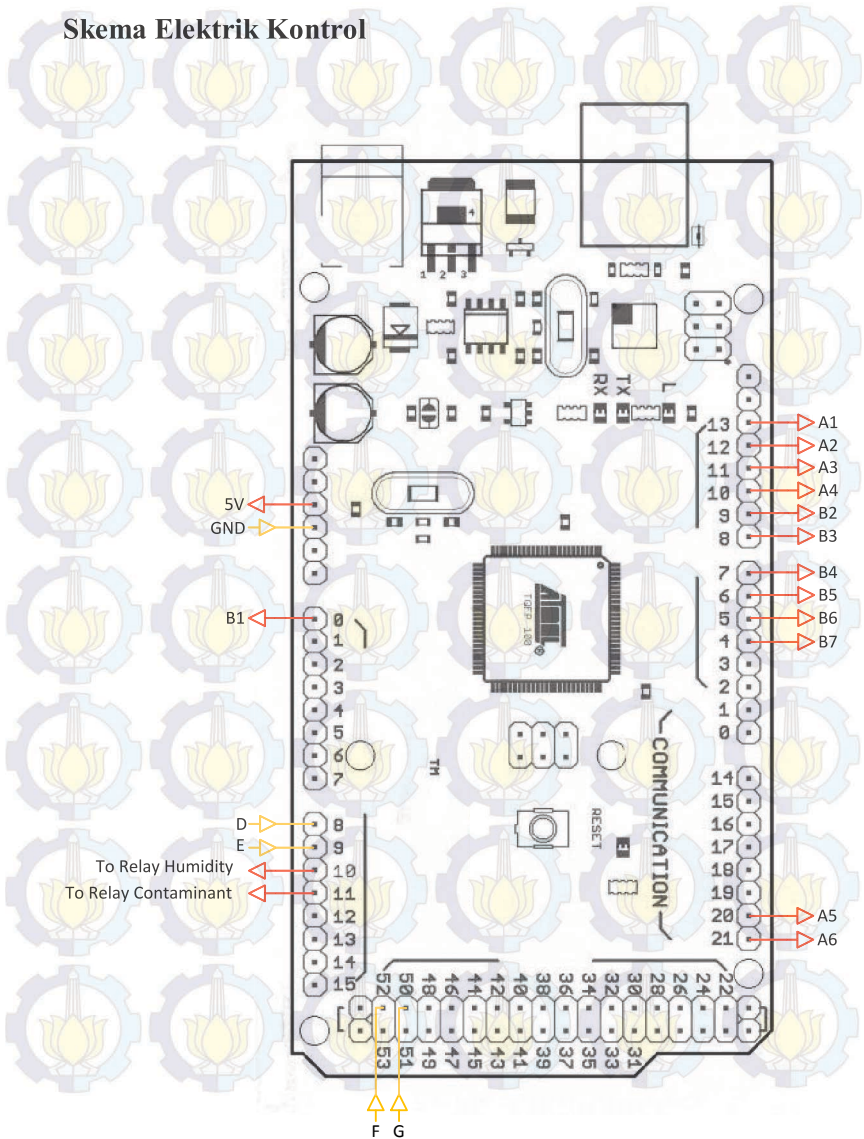
Untuk meningkatkan respons dalam mengatur kelembaban dan kontaminasi perlu adanya penelitian tersendiri. Penelitian tersebut membahas tentang pemilihan sensor kelembaban dan kontaminasi yang mempunyai respons baik. Penelitian berkaitan akselerasi umur karena pengaruh kelembaban dan kontaminasi yang ditingkatkan dapat dilakukan dengan alat ini.



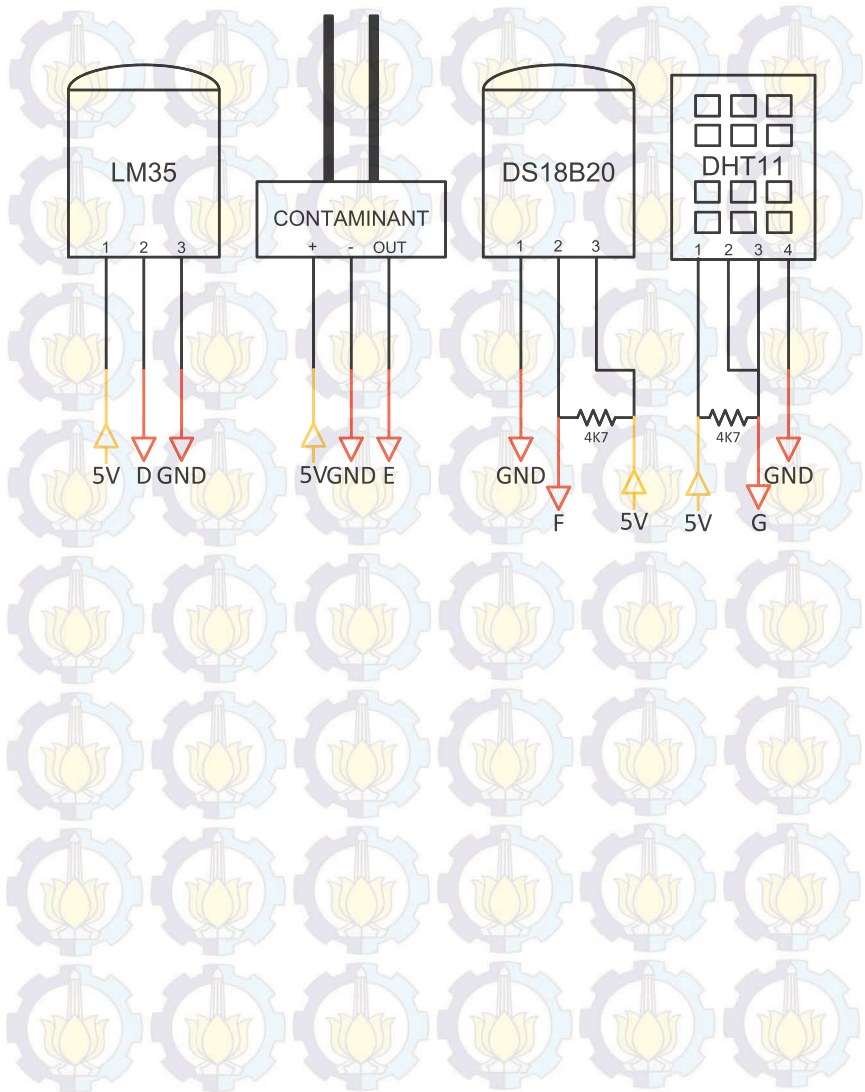
Halaman ini sengaja dikosongkan

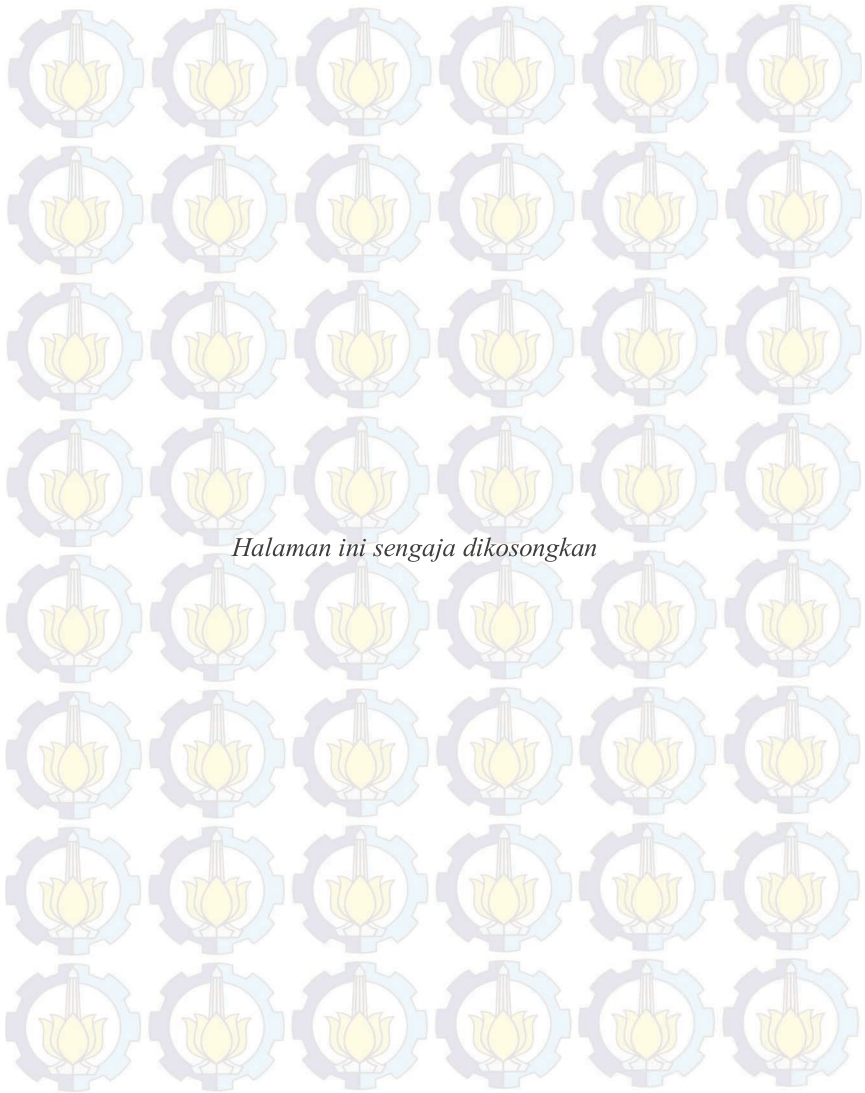
LAMPIRAN A

Skema Elektrik Kontrol



Skema Elektrik Sensor





Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Listing Program

```
#include "Wire.h"
#include "RTClib.h"
#include "LiquidCrystal.h"
#include "SPI.h"
#include "SD.h"
#include "DHT.h"
#include "OneWire.h"
#include "DallasTemperature.h"

#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5
#define beeper A1
#define shortBeep 100
#define longBeep 500
#define CS 10
#define DHTPIN 50
#define DHTTYPE DHT11
#define ONE_WIRE_BUS 52

RTC_DS1307 RTC;
DateTime now;
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
File dataFile;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int chipSelect = 10;
const int LM35 = A8;
const int CONT = A9;
const int pirPin = 16;

int rLM35;
int rCONT;
int oHUM = A10;
int oCONT = A11;
int led_key = 0;
int adc_key_in = 0;
int read_LCD_buttons() {
    adc_key_in = analogRead(0);
```



```

if (adc_key_in < 50) return btnRIGHT;
if (adc_key_in < 195) return btnUP;
if (adc_key_in < 380) return btnDOWN;
if (adc_key_in < 555) return btnLEFT;
if (adc_key_in < 790) return btnSELECT;
return btnNONE;
}
int lastDay = 0;
int lastMonth = 0;
int lastYear = 0;
int lastHour = 0;
int lastMinute = 0;

int menuOptions = 3;
int menuOption = 0;
int sensorOptions = 3;
int sensorOption = 0;
int humidity = 80 ;
int contaminant = 10;

bool resetClock = false;

double tempC, t, tt;
int cont, h;
char data[40];

void setup () {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(beeper, OUTPUT);
  digitalWrite(beeper, LOW);
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(oHUM, OUTPUT);
  pinMode(oCONT, OUTPUT);
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
  }
  dht.begin();
  sensors.begin();
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  pinMode(SS, OUTPUT);
  if (!SD.begin(10, 11, 12, 13)) {
    Serial.println("SD Card initialization failed!");
    return;
  }
  Serial.println("Opening logfile for write.");
  dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
  if (!dataFile) {

```

```

Serial.println("error opening log file");
while (1);
}
}

void loop () {
  now = RTC.now();
  rLM35 = analogRead(LM35);
  rCONT = analogRead(CONT);
  tempC = (rLM35 / 1024.0) * 500;
  cont = (rCONT * 226.8 + 79.8)/1024;
  if (cont > 100)
    cont = 100;
  if (h < 0)
    cont = 0;
  h = dht.readHumidity() + 17;
  if (h > 100)
    t = 100;
  if (h < 0)
    t = 0;
  t = dht.readTemperature();
  sensors.requestTemperatures();
  tt = sensors.getTempCByIndex(0) + 0.2;
  dataLog();
  digitalClockDisplay();
  button_loop();
  if (h < humidity)
    digitalWrite(oHUM, HIGH);
  else
    digitalWrite(oHUM, LOW);
  if (cont < contaminant)
    digitalWrite(oCONT, HIGH);
  else
    digitalWrite(oCONT, LOW);
}

void printDigits(byte digits) {
  if (digits < 10)
    lcd.print('0');
    lcd.print(digits, DEC);
}

void digitalClockDisplay() {
  // lcdClear();
  button_loop();
  bool clockPM = 0;
  if (now.day() != lastDay || resetClock == true) {
    lcd.begin(16,2);
    lcd.setCursor(3,0);

```

```

printDigits(now.day());
lcd.print("/");
printDigits(now.month());
lcd.print("/");
int thisYear = now.year();
lcd.print(thisYear, DEC);
}
if (now.minute() != lastMinute || resetClock == true) {
  lcd.setCursor(4,1);
  if(now.hour() > 11) {
    if (now.hour() == 12) {
      printDigits(now.hour());
    }
    else {
      printDigits(now.hour()-12);
    }
  }
  lcd.print(":");
  printDigits(now.minute());
  clockPM = true;
  lcd.print(" PM ");
}
else {
  printDigits(now.hour());
  lcd.print(":");
  printDigits(now.minute());
  clockPM = false;
  lcd.print(" AM ");
}
}
resetClock = false;
lastDay = now.day();
lastMonth = now.month();
lastYear = now.year();
lastHour = now.hour();
lastMinute = now.minute();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();
dataSensor1();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();
dataSensor2();
button_loop();
delay (2000);
lcdClear();
button_loop();

```

```

dataSensor3();
button_loop();
delay (1200);
}

void dataSensor1 () {
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Humidity");
  lcd.setCursor(12,0);
  if(h < 10)
    lcd.print(" ");
  if(h < 100 and h > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(h);
  lcd.print("%");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Contaminant");
  lcd.setCursor(12,1);
  if(cont < 10)
    lcd.print(" ");
  if(cont < 100 and cont > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(cont);
  lcd.print("%");
}

void dataSensor2 () {
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Chamber");
  lcd.setCursor(8,0);
  if(t < 10)
    lcd.print(" ");
  if(t < 100 and t > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(t);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Motor 1");
  lcd.setCursor(8,1);
  if(tt < 10)
    lcd.print(" ");
  if(tt < 100 and tt > 9)
    lcd.print(" ");
  lcd.print(tt);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
}

```



```
}
```

```
void dataSensor3 () {  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Motor 2");  
  lcd.setCursor(8,0);  
  if(tempC < 10)  
    lcd.print(" ");  
  if(tempC < 100 and tempC > 9)  
    lcd.print(" ");  
  lcd.print(tempC);  
  lcd.print((char)223);  
  lcd.print("C");  
}
```

```
void dataLog () {  
  File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);  
  if (dataFile) {  
    dataFile.print(now.year(), DEC);  
    dataFile.print("/");  
    dataFile.print(now.month(), DEC);  
    dataFile.print("/");  
    dataFile.print(now.day(), DEC);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(now.hour(), DEC);  
    dataFile.print(":");  
    dataFile.print(now.minute(), DEC);  
    dataFile.print(":");  
    dataFile.print(now.second(), DEC);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(h);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(cont);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(t);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(tt);  
    dataFile.print(",");  
    dataFile.print(tempC);  
    dataFile.println();  
    dataFile.close();  
  }  
  Serial.print(now.year(), DEC);  
  Serial.print("/");  
  Serial.print(now.month(), DEC);  
  Serial.print("/");  
  Serial.print(now.day(), DEC);  
  Serial.print(",");
```

```

Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(",");
Serial.print(h);
Serial.print(",");
Serial.print(cont);
Serial.print(",");
Serial.print(t);
Serial.print(",");
Serial.print(tt);
Serial.print(",");
Serial.print(tempC);
Serial.println();
}

void button_loop() {
  int button = read_LCD_buttons();
  if (button == btnSELECT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    selectMenu();
  }
}

void selectMenu() {
  int button = 0;
  menuOption = 1;
  lcdClear();
  lcd.print("Set Date/Time");
  while (menuOption <= menuOptions) {
    button = read_LCD_buttons();
    if (button == btnSELECT) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      menuOption++;
      if (menuOption == 2) {
        lcdClear();
        lcd.print("Set Humidity");
      }
      if (menuOption == 3) {
        lcdClear();
        lcd.print("Set Contaminant");
      }
    }
  }
  if (button == btnLEFT) {
    if (menuOption == 1) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      setDateAndTime();
    }
  }
}

```

```

    return;
}
if (menuOption == 2) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    setHumidity();
    return;
}
if (menuOption == 3) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    setContaminant();
    return;
}
}
}

void setDate() {
    int button = 0;
    char *ampm = "AM";
    int setMonth = getTimerMinutes("Set Month", lastMonth, 12);
    if (setMonth > 0 && setMonth < 13) {
        int setDay = getTimerMinutes("Set Day", lastDay, 31);
        if (setDay > 0 && setDay < 32) {
            int setYear = getTimerMinutes("Set Year", lastYear, 2999);
            if (setYear > 2000 && setYear < 3000) {
                int thisHour = lastHour;
                if (thisHour > 12) {
                    thisHour -= 12;
                    ampm = "PM";
                }
                int setHour = getTimerMinutes("Set Hour", thisHour, 12);
                if (setHour > 0 && setHour < 13) {
                    int setMinute = getTimerMinutes("Set Minute", lastMinute, 59);
                    if (setMinute < 60) {
                        lcdClear();
                        lcd.print("Toggle AM/PM");
                        lcd.setCursor(0,1);
                        lcd.print(setHour);
                        lcd.print(":");
                        if (setMinute < 10)
                            lcd.print("0");
                        lcd.print(setMinute);
                        lcd.setCursor(6,1);
                        lcd.print(ampm);
                        button = 6;
                    }
                    while (button != btnSELECT && button != btnRIGHT) {
                        button = read_LCD_buttons();
                        if (button == btnUP || button == btnDOWN) {
                            timedBeep(shortBeep,1);

```

```

    if (ampm == "AM") {
        ampm = "PM";
    }
    else {
        ampm = "AM";
    }
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print(ampm);
}
}
if (button == btnRIGHT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    if (ampm == "PM")
        setHour = setHour + 12;
    RTC.adjust(DateTime(setYear,setMonth,setDay,setHour,setMinute));
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Saving... ");
    delay(1000);
    return;
}
else {
    timerCancelled("");
    return;
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
else {
    timerCancelled("");
}
}
}

void setHumidity() {
    int button = 0;
    lcdClear();

```



```

lcd.print("Set Humidity");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(humidity);
while (button != btnSELECT) {
  button = read_LCD_buttons();
  Serial.println(button);
  if (button == btnLEFT) {
    if ((humidity + 10) <= 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      humidity = humidity + 10;
    }
  }
  else {
    timedBeep(shortBeep,2);
  }
}
if (button == btnUP) {
  if (humidity < 100) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    humidity++;
  }
  else {
    timedBeep(shortBeep,2);
  }
}
if (button == btnDOWN) {
  if (humidity > 0) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    humidity--;
  }
  else {
    timedBeep(shortBeep,2);
  }
}
if (button == btnRIGHT) {
  timedBeep(shortBeep,1);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Saving... ");
  delay(1000);
  return;
}
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(humidity);
lcd.print(" ");
}
return;
}

```

```

void setContaminant () {
  int button = 0;

```

```

lcdClear();
lcd.print("Set Contaminant");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(contaminant);
while (button != btnSELECT) {
  button = read_LCD_buttons();
  Serial.println(button);
  if (button == btnLEFT) {
    if ((contaminant + 10) <= 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant = contaminant + 10;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnUP) {
    if (contaminant < 100) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant++;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnDOWN) {
    if (contaminant > 0) {
      timedBeep(shortBeep,1);
      contaminant--;
    }
    else {
      timedBeep(shortBeep,2);
    }
  }
  if (button == btnRIGHT) {
    timedBeep(shortBeep,1);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Saving... ");
    delay(1000);
    return;
  }
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(contaminant);
  lcd.print(" ");
}
return;
}

```

```

int getTimerMinutes(char timerText[], int startNum, int maxTimerMinutes) {

```

```

int minutes = startNum;
int button = 0;
lcdClear();
lcd.print(timerText);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(minutes);
while (button != btnSELECT) {
    button = read_LCD_buttons();
    Serial.println(button);
    if (button == btnLEFT) {
        if ((minutes + 10) <= maxTimerMinutes) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes = minutes + 10;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnUP) {
        if (minutes < maxTimerMinutes) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes++;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnDOWN) {
        if (minutes > 0) {
            timedBeep(shortBeep,1);
            minutes--;
        }
        else {
            timedBeep(shortBeep,2);
        }
    }
    if (button == btnRIGHT) {
        timedBeep(shortBeep,1);
        return minutes;
    }
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(minutes);
    lcd.print(" ");
}
return 0;
}

void timedBeep(int beepTime, int beepTimerMinutes) {
    for (int i = 0; i < beepTimerMinutes; i++) {

```

```
digitalWrite(beeper, HIGH);  
delay(beepTime);  
digitalWrite(beeper, LOW);  
delay(beepTime);  
}
```

```
void lcdClear() {  
  resetClock = true;  
  lcd.clear();  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.setCursor(0,0);  
}
```

```
void timerCancelled(char message[]) {  
  lcdClear();  
  lcd.print(message);  
  lcd.print(" Cancelled");  
  timedBeep(shortBeep,3);  
}
```